

# MỤC LỤC

<b>MỤC LỤC.....</b>	<b>4</b>
<b>DANH MỤC CÁC BẢNG .....</b>	<b>4</b>
<b>DANH MỤC HÌNH ẢNH.....</b>	<b>5</b>
<b>CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Mục tiêu thiết kế.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2 Sơ lược về xe dò line.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Một số thiết kế điển hình của xe dò line.....</b>	<b>8</b>
<b>1.3.1 Alphabot Robot -Ar- Basic của hãng Waveshare phiên bản tránh vật cản[1] .....</b>	<b>8</b>
<b>1.4 Một số mẫu AGV phát hiện vật cản trên thị trường .....</b>	<b>11</b>
<b>1.4.1 AGV robot công nghiệp của TZBOT [2].....</b>	<b>11</b>
<b>1.4.2 AGV của Intech group [3] .....</b>	<b>13</b>
<b>1.5 Đầu bài thiết kế .....</b>	<b>14</b>
<b>CHƯƠNG 2 : CHỌN LỰA PHƯƠNG ÁN.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Kết cấu xe.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Động cơ .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3 Cảm biến.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.1 Cảm biến bám line .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.2 Cảm biến tránh vật cản .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.3 Chọn lựa cách bố trí cảm biến .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4 Lựa chọn phương án điều khiển .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.1 Lựa chọn bộ điều khiển .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.2 Lựa chọn cấu trúc điều khiển .....</b>	<b>25</b>
<b>2.4.3 Lựa chọn phương thức giao tiếp.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.4 Lựa chọn vi điều khiển .....</b>	<b>28</b>
<b>CHƯƠNG 3: SƠ ĐỒ GANT .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1. Sơ đồ GANT sơ bộ .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2. Sơ đồ GANT tiến độ thật công việc .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3. Sơ đồ GANT cuối cùng .....</b>	<b>33</b>
<b>CHƯƠNG 4: THIẾT KẾ.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1. Thiết kế cơ khí.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1.1 Lựa chọn bánh chủ động và bánh bị động.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1.2 Tính toán và lựa chọn động cơ.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1.3 Xét điều kiện để xe vào cua không bị trượt .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.4 Xét điều kiện để vào cua không lật.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1.5 Thiết kế thân xe và các bộ phận.....</b>	<b>39</b>
<b>4.1.6 Kiểm bền tẩm thân xe .....</b>	<b>42</b>

<b>4.1.7</b>	<b>Thiết kế đồ gá động cơ – Tính toán dung sai .....</b>	<b>45</b>
<b>4.1.8</b>	<b>Độ nhám bề mặt .....</b>	<b>52</b>
<b>4.2</b>	<b>Thiết kế điện .....</b>	<b>52</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Tính toán cảm biến .....</b>	<b>52</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Lựa chọn và thiết kế mạch driver.....</b>	<b>62</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Lựa chọn nguồn và mạch hạ áp.....</b>	<b>65</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Thiết kế bộ điều khiển trung tâm .....</b>	<b>69</b>
<b>4.3</b>	<b>Mô hình hóa hệ thống .....</b>	<b>73</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Phân tích mô hình động học cho xe dò line.....</b>	<b>73</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Tìm hàm truyền động cơ .....</b>	<b>79</b>
<b>4.3.3.</b>	<b>Thiết kế bộ điều khiển .....</b>	<b>83</b>
<b>4.3.4.</b>	<b>Tìm các hệ số theo lý thuyết điều khiển .....</b>	<b>85</b>
<b>4.3.5.</b>	<b>Lưu đồ giải thuật điều khiển.....</b>	<b>88</b>
<b>CHƯƠNG 5: MÔ PHỎNG .....</b>		<b>91</b>
<b>CHƯƠNG 6: THỰC NGHIỆM .....</b>		<b>95</b>
<b>6.1</b>	<b>Lắp ráp cơ khí .....</b>	<b>95</b>
<b>6.2</b>	<b>Thực nghiệm phần điện và điều khiển .....</b>	<b>95</b>
<b>CHƯƠNG 7: KẾT LUẬN .....</b>		<b>99</b>
<b>7.1</b>	<b>Công việc đã làm .....</b>	<b>99</b>
<b>7.2</b>	<b>Đánh giá mô phỏng .....</b>	<b>99</b>
<b>7.3</b>	<b>Đánh giá thực nghiệm.....</b>	<b>99</b>
<b>7.4</b>	<b>Hạn chế .....</b>	<b>99</b>
<b>7.4.1</b>	<b>Hạn chế phần cơ.....</b>	<b>99</b>
<b>7.4.2</b>	<b>Hạn chế phần điện.....</b>	<b>99</b>
<b>7.4.3</b>	<b>Hạn chế phần điều khiển.....</b>	<b>100</b>
<b>7.5</b>	<b>Định hướng phát triển của đề tài.....</b>	<b>100</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>		<b>101</b>

## **DANH MỤC CÁC BẢNG**

Bảng 1 Ưu nhược điểm Alpha Robot.....	10
Bảng 2 Ưu nhược điểm của AGV công nghiệp TZBOT .....	12
Bảng 3 Ưu nhược điểm AGV Intech group .....	14
Bảng 4 Đầu bài thiết kế xe dò line .....	14
Bảng 5 So sánh kết xe 4 bánh và 3 bánh.....	15
Bảng 6 So sánh các loại động cơ.....	17
Bảng 7 So sánh các loại cảm biến .....	19
Bảng 8 So sánh cảm biến phát hiện vật cản .....	21
Bảng 9 Nhận xét cách bố trí cảm biến .....	22
Bảng 10 So sánh cấu trúc tập trung và phân cấp .....	27
Bảng 11 So sánh các phương thức giao tiếp .....	27
Bảng 12 Tiêu chí cho các vi điều khiển .....	28
Bảng 13 Các kích thước cơ bản của khung thân xe .....	41
Bảng 14 Giá trị cảm biến sau khi calip .....	59
Bảng 15 Thông số driver L298N .....	62
Bảng 16 Datasheet của IC ổn áp LM7812CV.....	65
Bảng 17 Datasheet của IC ổn áp LM7805CV.....	66
Bảng 18 Datasheet của IC ổn áp LM1117T-3V3 .....	67
Bảng 19 Các giá trị đầu vào mô phỏng .....	91

## DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.1 Sa bàn line yêu cầu .....	7
Hình 1.2 Alpha Robot .....	8
Hình 1.3 Sơ đồ nguyên lý xe Alpha Robot .....	9
Hình 1.4 AGV robot công nghiệp của TZBOT .....	11
Hình 1.5 Sơ đồ nguyên lý .....	11
Hình 1.6 AGV Intech group .....	13
Hình 1.7 Sơ đồ nguyên lý AGV Intech group .....	13
Hình 2.1 Nguyên lý cảm biến quang điện trở .....	18
Hình 2.2 Nguyên lý hoạt động cảm biến hồng ngoại .....	19
Hình 2.3 Nguyên lý hoạt động cảm biến tiệm cận điện cảm .....	20
Hình 2.4 Nguyên lý hoạt động cảm biến tiệm cận điện dung .....	20
Hình 2.5 Nguyên lý hoạt động cảm biến siêu âm .....	21
Hình 2.6 Cấu tạo nguyên lý làm việc bộ điều khiển ON-OFF .....	23
Hình 2.7 Sơ đồ mạch điện bộ điều khiển ON-OFF .....	23
Hình 2.8 So sánh bộ điều khiển PID và ON-OFF .....	24
Hình 2.9 Mô hình hóa động học robot áp dụng bộ điều khiển tracking .....	25
Hình 2.10 Cấu trúc điều khiển tập trung .....	26
Hình 2.11 Cấu trúc điều khiển phân cấp .....	26
Hình 2.12 Mức so sánh của cảm biến ứng với các vị trí line khi xe di chuyển .....	28
Hình 2.13 Giải thuật trọng số trung bình .....	29
Hình 2.14 Giải thuật nội suy bậc 2 .....	29
Hình 4.1 Mô hình động học bánh xe .....	34
Hình 4.2 Động cơ GA25 280rpm và các thông số kích thước .....	36
Hình 4.3 Phân tích lực gây trượt cho bánh xe khi vào cua .....	37
Hình 4.4 Phân tích lực gây lật khi vào cua .....	38
Hình 4.5 Mô hình toán khi xe chạy qua đoạn cong có bán kính 500mm .....	38
Hình 4.6 Mô hình biểu diễn lúc xe vào cua .....	40
Hình 4.7 Model 3D xe .....	42
Hình 4.8 Mô phỏng đặt lực trên tâm thân xe .....	43
Hình 4.9 Thông số vật liệu tâm thân xe .....	44
Hình 4.10 Phân bố ứng suất trên tâm thân xe .....	44
Hình 4.11 Phân tích chuyển vị trên tâm thân xe .....	45
Hình 4.12 Đồ gá động cơ .....	45
Hình 4.13 Datasheet chốt định vị trụ suốt [25] .....	46
Hình 4.14 Chọn mặt chuẩn và dung sai các mặt phụ vuông góc .....	47
Hình 4.15 Khoảng lệch tâm giữa 2 bánh động cơ .....	48
Hình 4.16 Các khâu hình thành chuỗi kích thước .....	48
Hình 4.17 Chuỗi kích thước .....	48
Hình 4.18 Chuỗi kích thước theo phương $\Delta x$ .....	50
Hình 4.19 Chuỗi kích thước .....	50
Hình 4.20 Sơ đồ mạch điện cảm biến quang TCRT5000 .....	52
Hình 4.21 Đồ thị thể hiện mối tương quan giữa dòng điện vào led phát với dòng điện transistor (bên trái) và với điện áp 2 đầu transistor (bên phải) .....	53
Hình 4.22 Cách đặt cảm biến .....	54
Hình 4.23 Ảnh hưởng của cách đặt cảm biến với Switching distance .....	54
Hình 4.24 Sơ đồ đo chiều cao cảm biến so với mặt sàn .....	55
Hình 4.25 Đồ thị kết quả thí nghiệm đo giá trị điện áp trả về từ cảm biến tại từng vị trí so với tâm line .....	55

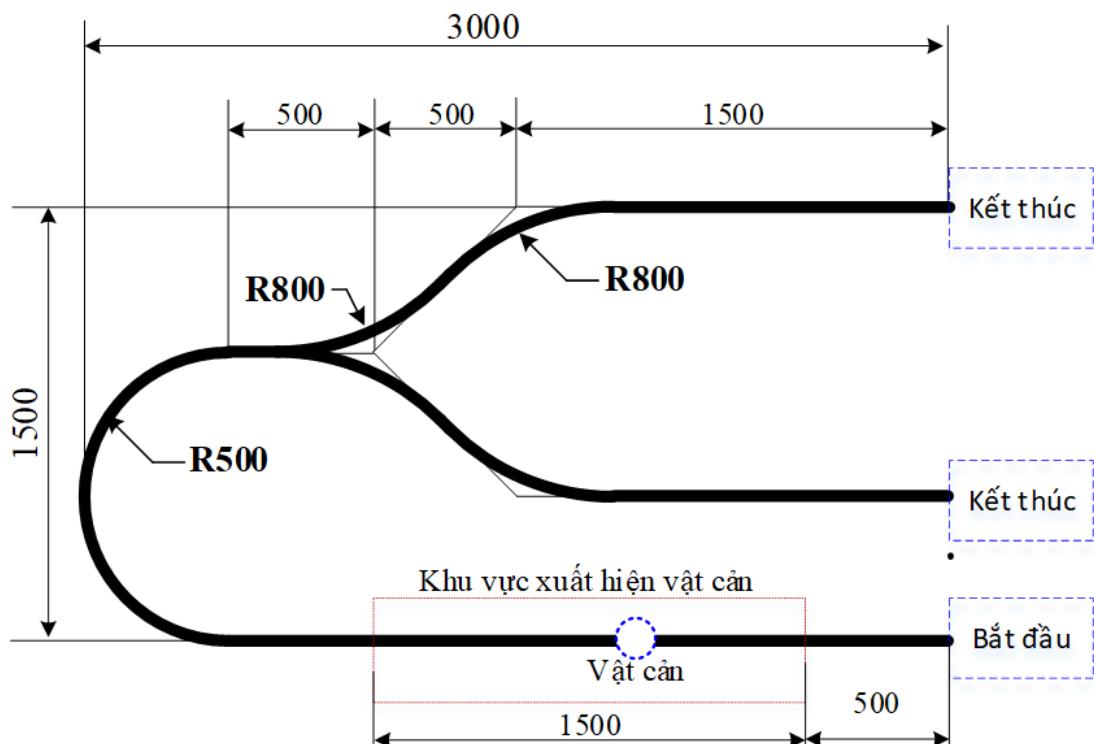
Hình 4.26 Hình giao thoa giữa led phát và led thu của TCRT500 .....	56
Hình 4.27 Sơ đồ tính toán khoảng cách giữa 2 cảm biến .....	56
Hình 4.28 Điều kiện khoảng cách giữa các cảm biến.....	57
Hình 4.29 Kích thước sensor .....	57
Hình 4.30 Schematic mạch cảm biến.....	58
Hình 4.31 Mạch PCB cảm biến .....	59
Hình 4.32 Mô hình 3D cảm biến .....	59
Hình 4.33 Sơ đồ test cảm biến .....	60
Hình 4.34 Đồ thị giữa khoảng cách thực và khoảng cách xấp xỉ trọng số .....	61
Hình 4.35 Đồ thị giữa khoảng cách thực và khoảng cách xấp xỉ sau khi tuyến tính.....	61
Hình 4.36 Block diagram của IC L298N .....	63
Hình 4.37 Schematic khối L298N .....	64
Hình 4.38 Mô hình 3D driver .....	65
Hình 4.39 IC ổn áp LM7812CV .....	65
Hình 4.40 Sơ đồ mạch hạ áp 12V .....	66
Hình 4.41 Sơ đồ mạch hạ áp 5V .....	67
Hình 4.42 IC ổn áp LM1117T-3V3 .....	67
Hình 4.43 Sơ đồ mạch hạ áp 3,3V .....	68
Hình 4.44 Pin 9V BESTON 1000mAh.....	69
Hình 4.45 Vi điều khiển Atmega 328P DIP .....	70
Hình 4.46 Arduino Nano tích hợp ATmega328 TQFP.....	71
Hình 4.47 Sơ đồ mạch Altium mạch điều khiển trung tâm .....	71
Hình 4.48 PCB mạch điều khiển trung tâm .....	72
Hình 4.49 Model 3D mạch điều khiển trung tâm .....	73
Hình 4.50 Mô hình của hệ thống .....	74
Hình 4.51 Mô hình tương đương .....	74
Hình 4.52 Mô hình sai số của hệ thống .....	77
Hình 4.53 Quan hệ giữa % PWM và tốc độ của động cơ trái.....	80
Hình 4.54 Quan hệ giữa % PWM và tốc độ của động cơ phải .....	80
Hình 4.55 Hàm truyền động cơ trái mô phỏng .....	82
Hình 4.56 Hàm truyền động cơ phải mô phỏng.....	83
Hình 4.57 Chương trình chính .....	88
Hình 4.58 Chương trình Slave cảm biến.....	89
Hình 4.59 Chương trình Slave động cơ .....	90
Hình 4.60 Chương trình Master .....	91
Hình 4.61 Chương trình né vật cản.....	91
Hình 5.1 Sa bàn mô phỏng.....	92
Hình 5.2 Xe chạy trên sa bàn .....	93
Hình 5.3 Sai số e2 theo thời gian .....	93
Hình 5.4 Tốc độ 2 động cơ theo thời gian .....	94
Hình 6.1 Lắp ráp cơ khí xe .....	95
Hình 6.2 Mạch cảm biến.....	96
Hình 6.3 Mạch điện tổng .....	97
Hình 6.4 Xe sau khi hoàn thành.....	98

## CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN

### 1.1 Mục tiêu thiết kế

Thiết kế Mobile robot giám sát các hoạt động trong nhà máy, bám theo quỹ đạo cho trước, kết hợp né vật cản trước mặt. Mobile robot sau khi thiết kế cần phải di chuyển với tốc độ ổn định, hoàn thành sa bàn đúng yêu cầu và đáp ứng được các yêu cầu khác mà đề bài đặt ra (tốc độ tối thiểu, sai số line, sai số vị trí dừng cuối đường dẫn).

Hình dạng sa bàn:



**Hình 1.1 Sa bàn line yêu cầu**

### 1.2 Sơ lược về xe dò line

Xe dò line ( Line following Robot ) là một loại robot di chuyển bằng chuyển động quay của bánh xe và đổi hướng bằng các nguyên lí đặc biệt và bám theo một đường line nhất định được dán trên sa bàn.

Xe dò line là một ứng dụng nhỏ trong sản phẩm cơ điện tử, thế nhưng nó đóng một vai trò quan trọng cho việc sản xuất các sản phẩm cơ điện tử ở quy mô lớn như: robot vận chuyển hàng hóa trong nhà kho, cảng trong ngành công nghiệp AGV phát triển hơn là ARM. Về phía sinh viên, đây là một đề tài có thể dùng để phát triển thành đồ án tốt nghiệp, có thể hệ thống hóa lại những kiến thức chuyên ngành đã học và thực

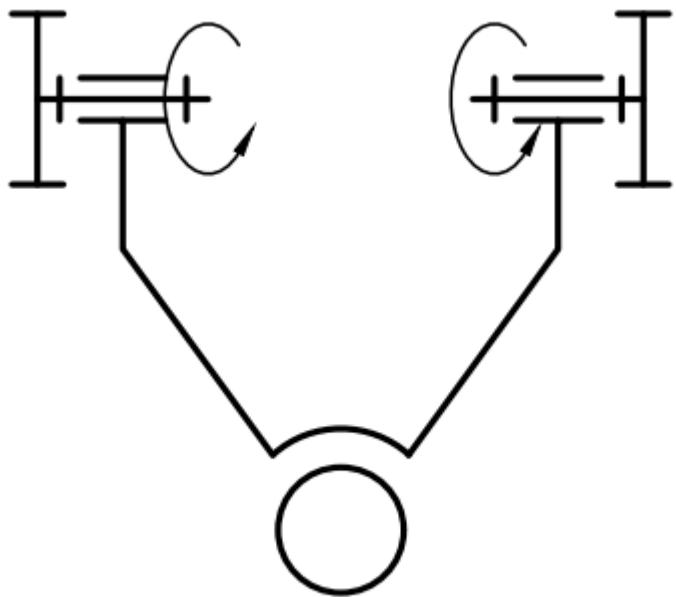
nghiệm được với nguồn kinh phí cho phép đối với sinh viên. Từ đó giúp có thêm kinh nghiệm cho việc thực hiện đồ án tốt nghiệp cuối khóa.

### 1.3 Một số thiết kế điển hình của xe dò line

#### 1.3.1 Alphabot Robot -Ar- Basic của hãng Waveshare phiên bản tránh vật cản[1]



**Hình 1.2 Alpha Robot**



**Hình 1.3 Sơ đồ nguyên lý xe Alpha Robot**

**Thông số kỹ thuật chính:**

- Tốc độ tối đa : tùy thuộc vào động cơ lắp vào, có thể đạt được tối đa 1 m/s
- Module vi điều khiển sử dụng: UNO R3-Plus với vi điều khiển ATmega 328P
- Module điều khiển động cơ: LM298P
- Kết cấu dẫn động : 2 bánh chủ động với 2 động cơ DC Encoder , 1 bánh tự lùa
- Nguồn cung cấp: 2 pin với điện áp 3.7V mỗi viên tạo thành điện áp 7.4V . Điện áp sẽ được điều chỉnh thông qua LM2596 xuất ra Arduino và cảm biến
- Module dò line : Sử dụng nguyên lý phản xạ ánh sáng và truyền tín hiệu về với cảm biến ITR20001/T . Tín hiệu truyền về ảnh hưởng bởi khoảng cách và màu sắc. Bằng cách kiểm tra dữ liệu truyền về, từ đó điều khiển hành động của robot thông qua giải thuật so sánh.
- Module tránh vật cản vật cản : Sử dụng đồng thời cảm biến siêu âm HC-SR04 gắn với động cơ Servo SG90 để điều chỉnh góc xoay cho việc tránh vật cản và cảm biến hồng ngoại có dây đèn LED hồng ngoại dưới dạng chất phát quang. Khi có chướng ngại vật trên hướng đi, ánh sáng sẽ được phản xạ và thu bởi bộ thu hồng ngoại

**Bảng 1 Ưu nhược điểm Alpha Robot**

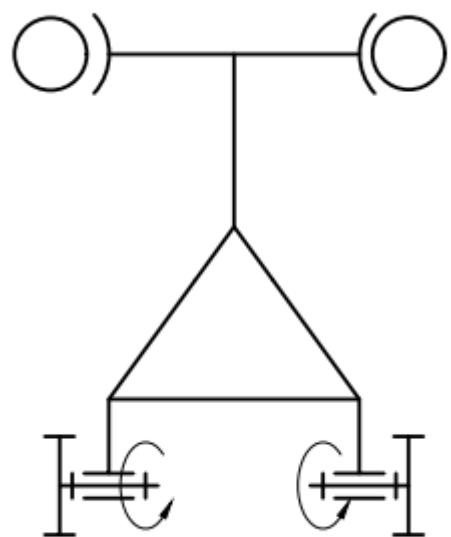
	Cơ khí	Điện	Điều khiển
Ưu điểm	+ Kết cấu đơn giản, tiếp xúc 3 điểm nên đảm bảo về vấn đề đồng phẳng.	+ Do phần điện đều là các module sẵn có nên dễ dàng thao tác, lắp mạch điện. + Chống nhiễu tốt.	+ Mô hình động học đơn giản. + Sử dụng bộ điều khiển tập trung nên lập trình sẽ không phức tạp như bộ điều khiển phân cấp
Nhược điểm	+ Do động cơ được lắp trực tiếp vào động cơ nên cần phải quan tâm vấn đề đồng trục của 2 bánh phía sau. + Dễ lật khi vào cua, cần tính toán. + Phải tính toán trọng tâm xe phù hợp.	+ Sử dụng nguồn điện là pin nên sẽ có hiện tượng sụt áp, cần phải lắp mạch ổn áp cho hệ thống.	+ Giải thuật né vật cần phải chính xác để xe có thể vào lại line. + Do sử dụng bộ điều khiển tập trung nên việc hệ thống sẽ không thể đảm nhiệm nhiều công việc trong một thời điểm, cần chú ý trong lập trình

## 1.4 Một số mẫu AGV phát hiện vật cản trên thị trường

### 1.4.1 AGV robot công nghiệp của TZBOT [2]



*Hình 1.4 AGV robot công nghiệp của TZBOT*



*Hình 1.5 Sơ đồ nguyên lý*

#### Thông số kỹ thuật :

- Kích thước: 880x560x212 mm
- Hệ thống dẫn đường : Băng từ

- Tốc độ tối đa: 0.9 m/s
- Độ chính xác vị trí:  $\pm 5$  mm
- Điện áp hoạt động : 24V DC được cung cấp qua pin
- Động cơ sử dụng: DC không chổi than, công suất 400W
- Cảm biến sử dụng: cảm biến siêu âm giúp phát hiện vật cản; Cảm biến từ dùng để dẫn đường.
- Mạch điều khiển: Sử dụng bộ điều khiển thông minh do TZBOT sản xuất, bộ điều khiển tích hợp hệ điều hành chuyên dụng cho AGV (RTOS)

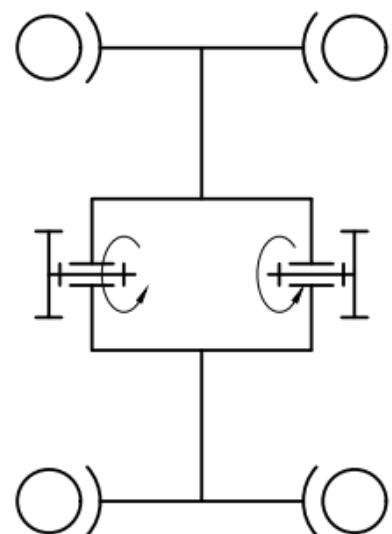
**Bảng 2 Ưu nhược điểm của AGV công nghiệp TZBOT**

	Cơ khí	Điện	Điều khiển
Ưu điểm	+ Khó bị lật khi cua do tiếp xúc 4 bánh	+ Do sản phẩm đều là các module sẵn có nên việc thực hiện tháo lắp các thiết bị. + Chống nhiễu tốt.	+ Bộ điều khiển đã có khả năng lập kế hoạch dẫn đường, giúp xe có thể tự vận hành mà không cần lập trình.
Nhược điểm	+ Phải chú ý vấn đề đồng trục cho bánh xe, do 2 bánh chủ động lắp 2 động cơ + Phải đảm bảo độ đồng phẳng.	+ Sử dụng nguồn điện là pin nên sẽ có hiện tượng sụt áp, cần phải chú ý dung lượng pin để hệ thống luôn hoạt động ổn định.	+ Do chỉ sử dụng một bộ điều khiển nên việc lập trình và sử dụng hết các tính năng của AGV như tự động điều hướng, bản đồ,... phải đòi hỏi người kỹ sư có trình độ chuyên môn cao

#### 1.4.2 AGV của Intech group [3]



**Hình 1.6 AGV Intech group**



**Hình 1.7 Sơ đồ nguyên lý AGV Intech group**

**Thông số :**

- Tốc độ duy chuyển : 1.6 m/s
- Trọng lượng : 110 kg
- Tải trọng : 300 kg
- Kích thước:  $1100 \times 550 \times 175$  mm
- Công nghệ định vị và dẫn đường : công nghệ guidance
- Cảm biến an toàn: Lidar 2D, cảm biến phát hiện vật cản, cảm biến vị trí
-

**Bảng 3 Ưu nhược điểm AGV Intech group**

	Cơ khí	Điện	Điều khiển
Ưu điểm	+ Khó bị lật khi cua do tiếp xúc 6 bánh.	+ Chống nhiễu tốt do hệ thống được lắp ghép từ các module sẵn có	+ Do kết hợp nhiều thuật toán, giải thuật nên hệ thống sẽ hoạt động với độ chính xác, hiệu quả cao
Nhược điểm	+ Phải chú ý vân đề đồng trục cho bánh xe, do 2 bánh chủ động lắp 2 động cơ + Phải đảm bảo độ đồng phẳng do xe có đến 6 bánh xe	+ Sử dụng nguồn điện pin nên cần lưu ý thời gian sạc để đảm bảo luôn vận hành ở tình trạng tốt nhất. + Sử dụng công nghệ guidance nên chi phí cho công nghệ khá là cao.	+ Lập trình phức tạp, do phải kết hợp cùng lúc nhiều lĩnh vực như : giao diện người dùng, thị giác máy tính... Gây khó khăn cho người lập trình

### 1.5 Đầu bài thiết kế

Vì xe hoạt động trong nhà máy nên yêu cầu tốc độ không được quá cao, phù hợp với tốc độ di chuyển của công nhân trong nhà máy. Nên do đó nhóm quyết định chọn  $v_{max} = 0.7 \text{ m/s}$ .

**Bảng 4 Đầu bài thiết kế xe dò line**

Đầu bài	Giá trị
Bán kính cong của nhỏ nhất của sa bàn	500 mm
Sai số bám đường dẫn	$\pm 3 \text{ mm}$ .
Sai số vị trí cuối đường dẫn	$\pm 5 \text{ mm}$ .
Bề rộng đường dẫn	26 mm
Vận tốc tối thiểu	0.1 m/s
Vận tốc tối đa	0.7 m/s

## CHƯƠNG 2 : CHỌN LỰA PHƯƠNG ÁN

### 2.1 Kết cấu xe

*Bảng 5 So sánh kết xe 4 bánh và 3 bánh*

		Cơ cấu 4 bánh	Cơ cấu 3 bánh		
		2 bánh chủ động, 2 bánh bị động	4 bánh chủ động	2 bánh sau dẫn động, 1 bánh tự lựa ở trước	2 bánh trước dẫn động, 1 bánh tự lựa ở sau
Ưu điểm	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Cho phép cua góc lớn, có thể xoay tại chỗ</li> <li>+ Độ cứng vững cao</li> <li>+ Hạn chế bị lật khi chuyển hướng</li> <li>+ Tải trọng phân bố đều ở 4 bánh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tải chia ra cho các động cơ nên giảm tải cho động cơ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiếp xúc mặt đường tốt (do 3 điểm tạo mặt phẳng)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Tiếp xúc mặt đường tốt</li> <li>+ Khi ôm cua, xe mang tải khó bị lật hơn trường hợp 2 bánh sau dẫn động</li> </ul>	
Nhược điểm	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Khó đảm bảo sự tiếp xúc của 4 bánh xe với mặt đường</li> <li>+ Cần đảm bảo đồng bộ và đồng trục giữa 2 động cơ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Xe dễ bị trượt, giải thuật điều khiển phức tạp</li> <li>+ Khó rẻ hướng ở khúc cua có bán kính cong nhỏ</li> <li>+ Bám đường không tốt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Khi ôm cua, xe mang tải dễ bị lật</li> <li>+ Trọng lượng phân bố không tốt (trên hình tam giác)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Bánh tự lựa ở phía sau có ma sát nhỏ khiến xe có thể bị xoay khi cua ở tốc độ cao.</li> <li>+ Trọng lượng phân bố không tốt (trên hình tam giác)</li> </ul>	

Với Tiêu chí :

- Vận tốc tối đa là 0.7 m/s
  - Khả năng chuyển hướng tốt
  - Chi phí thấp
- ➔ Nhóm quyết định lựa chọn kết cấu xe 3 bánh , 2 bánh trước dẫn động, 1 bánh sau tự lựa

## 2.2 Động cơ

**Động cơ điện một chiều (DC motor):**

- + Dải công suất rộng: từ vài W đến vài MW.
- + Đa dạng, linh hoạt, có thể đáp ứng yêu cầu moment, tăng tốc, và hãm với tải trọng nặng.
- + Dễ dàng tích hợp với các bộ truyền động.
- + Khoảng điều khiển tốc độ rộng và đảo chiều.

**Động cơ bước (step motor):**

- + Tất cả các mạch đảo phải được điều khiển bên ngoài bởi bộ điều khiển. Động cơ và bộ điều khiển được thiết kế để động cơ có thể giữ nguyên bất cứ vị trí cố định nào cũng như là quay đến bất kỳ vị trí bước nào (khoảng cách các bước phụ thuộc vào vị độ phân giải của động cơ).
- + Hầu hết các động cơ bước có thể chuyển động ở tần số âm thanh, cho phép chúng quay khá nhanh, và với một bộ điều khiển thích hợp, chúng có thể khởi động và dừng lại dễ dàng ở các vị trí bất kỳ.
- + Động cơ bước vi Step: sử dụng thêm driver để chia nhỏ bước [4].

**Động cơ DC encoder :** Là động cơ DC có gắn encoder phía sau dùng để đọc và phản hồi tốc độ động cơ qua driver điều khiển động cơ. Động cơ có thể đư.

**Bảng 6 So sánh các loại động cơ**

	Động cơ thường	Động cơ bước	Động cơ DC encoder
Ưu điểm	+ Dễ điều khiển + Tốc độ nhanh, liên tục	+ Sử dụng nhiều trong điều khiển vị trí + Moment xoắn lớn ở vận tốc thấp và giảm khi vận tốc cao	Vì điều khiển vòng kín nên áp dụng được các giải thuật điều khiển, thời gian đáp ứng nhanh, điều khiển vận tốc chính xác
Nhược điểm	+ Momen thấp + Vì là điều khiển vòng hở nên độ chính xác thấp, sai lệch về tốc độ. + Do điều khiển vòng hở nên gây khó khăn trong việc kiểm soát đầu ra tốc độ	+ Điều khiển vòng hở, bị trượt bước khi vận tốc cao + Do điều khiển vòng hở nên gây khó khăn trong việc kiểm soát đầu ra tốc độ	Moment động cơ DC thấp hơn step và động cơ servo
Độ chính xác		Phụ thuộc vào số bước trên 1 vòng thường là 200 bước/ vòng $\rightarrow 1,8^\circ/\text{bước}$	1024 xung/ vòng ( $0.35^\circ/\text{xung}$ )

**Nhận xét:** Dựa theo tiêu chí vận tốc động cơ tối đa 0.7 m/s, nhỏ gọn, điều khiển chính xác vận tốc mong muốn. Nhóm lựa chọn động cơ DC encoder

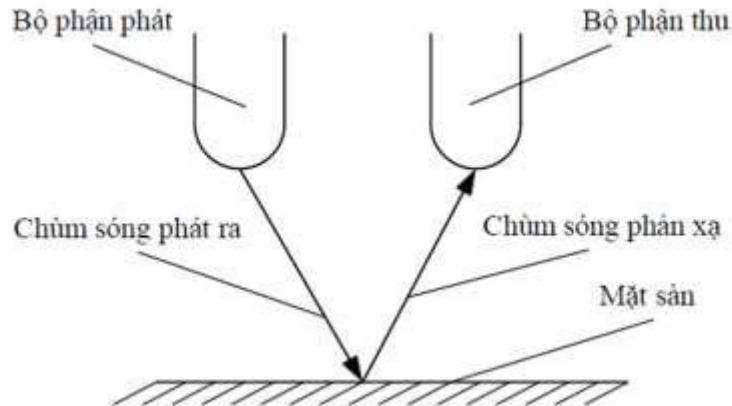
### 2.3 Cảm biến

#### 2.3.1 Cảm biến bám line

Có 2 loại cảm biến thường dùng trong các robot dò line:

Cảm biến quang dẫn [5][6][7]:

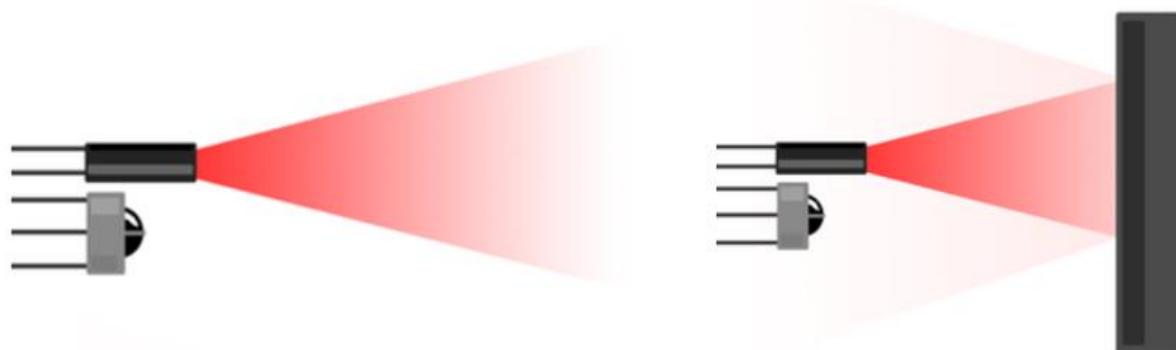
+ **Photoresistor:** bao gồm hai led phát và thu như được bố trí cách mặt đường một khoảng phù hợp sao cho vùng hoạt động của chúng giao thoa với nhau và không trùng với vùng giao thoa của bộ liền kề. Điện trở thay đổi khi ánh sáng thay đổi: trong bóng tối giá trị điện trở cao, nhưng khi được chiếu sáng giá trị điện trở giảm mạnh.



**Hình 2.1 Nguyên lý cảm biến quang điện trở**

+ **Phototransistor:** Có nguyên tắc hoạt động tương tự cảm biến quang điện trở gồm 1 nguồn phát ánh sáng phản xạ xuống đất và 1 nguồn thu ánh sáng phản xạ từ đó xử lý tín hiệu và đưa ra vị trí của xe so với line. Tuy nhiên nó được ứng dụng nhiều hơn vì thời gian đáp ứng nhanh hơn cảm biến quang điện trở.

+ **Cảm biến hồng ngoại[8]:** Cảm biến hồng ngoại sẽ hoạt động bằng cách sử dụng một cảm biến ánh sáng cụ thể để phát hiện bước sóng ánh sáng chọn trong phổ hồng ngoại (IR). Bằng cách sử dụng đèn LED tạo ra ánh sáng có cùng bước sóng với cảm biến đang tìm kiếm, bạn có thể xem cường độ của ánh sáng nhận được. Khi một vật ở gần cảm biến, ánh sáng từ đèn LED bật ra khỏi vật thể và đi vào cảm biến ánh sáng. Điều này dẫn đến một bước nhảy lớn về cường độ, mà chúng ta đã biết có thể được phát hiện bằng cách sử dụng một ngưỡng.



## Hình 2.2 Nguyên lý hoạt động cảm biến hồng ngoại

Bảng 7 So sánh các loại cảm biến

	Cảm biến quang (Phototransistor)	Cảm biến hồng ngoại (IR sensor)	Cảm biến quang trở (Photoresistor)
Ưu điểm	+ Giải thuật xử lý đơn giản + Tốc độ đáp ứng nhanh (có thể đạt 15ns)	Giải thuật xử lý đơn giản	Giải thuật xử lý đơn giản
Nhược điểm	+ Dễ bị nhiễu + Bề mặt sa bàn mấp mô, gây nhiễu	+ Dễ bị nhiễu + Tốc độ đáp ứng chậm (40μs) + Sai số lớn	+ Thời gian đáp ứng chậm (10ms) + Bị nhiễu bởi nhiệt độ + Bề mặt sa bàn mấp mô gây nhiễu

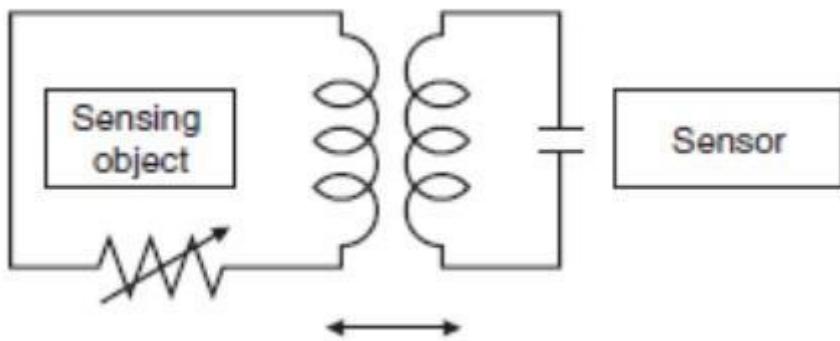
**Nhận xét:** Dựa vào tiêu chí: giá thành thấp, dễ xử lí, kích thước nhỏ gọn. Kết hợp với điều kiện sa bàn thẳng, thời gian đáp ứng nhanh. Ta lựa chọn cảm biến quang trở (Photoresistor)

### 2.3.2 Cảm biến tránh vật cản

Có 3 loại cảm biến phát hiện vật cản thường sử dụng:

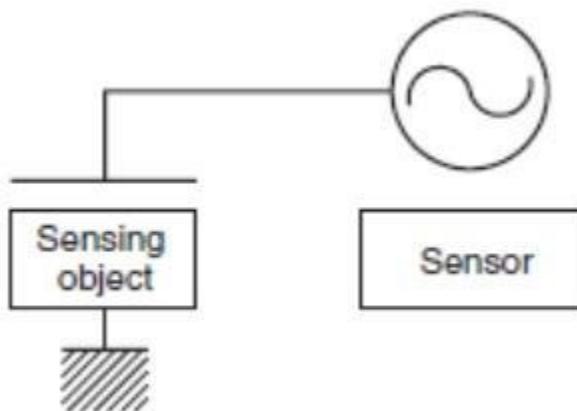
+ **Cảm biến tiệm cận[9]:** là vật được sử dụng để phát hiện những vật thể kim loại từ tính và không từ tính. Người ta thường sử dụng hai kiểu cảm biến đó là cảm biến điện cảm và cảm biến điện dung hay còn gọi là Inductivity/ capacitive Proximity Sensor. Đây là sản phẩm đáp ứng được nhiều loại hình thời tiết và môi trường khác nhau nhờ được lắp đặt model phù hợp.

+ **Cảm biến tiệm cận điện cảm:** phát hiện được sự suy giảm từ tính nhờ vào dòng điện xoáy sinh ra phía trên bề mặt của vật dẫn do từ trường ngoài. Trường điện từ được sinh ra nhờ xoay chiều sinh ra trên cuộn dây và thay đổi trở kháng phụ thuộc dòng điện xoáy ở trên bề mặt của những vật thể kim loại được chúng phát hiện.



**Hình 2.3 Nguyên lý hoạt động cảm biến tiệm cận điện cảm**

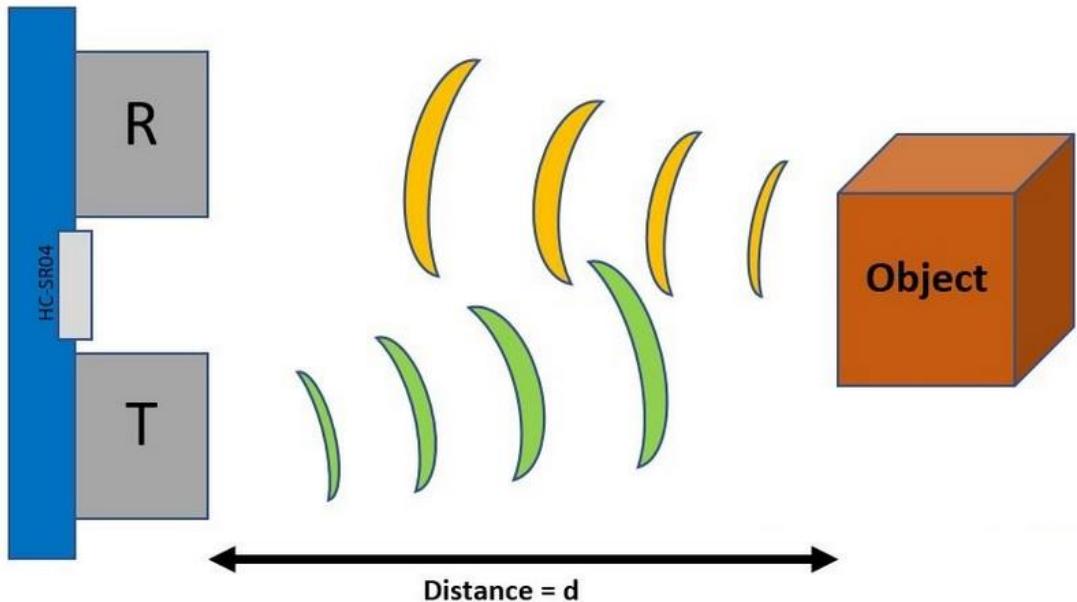
+ **Cảm biến tiệm cận điện dung:** làm việc theo nguyên lý phát hiện sự thay đổi điện dung giữa cảm biến với đối tượng cần được phát hiện. Giá trị của điện dung phụ thuộc chính vào khoảng cách và kích thước của đối tượng cần được phát hiện. Một dòng cảm biến tiệm cận kiểu điện dung thông thường sẽ tương tự với tụ điện có 2 bản điện cực song song với nhau, và điện dung sẽ thay đổi ở giữa 2 bản cực đó sẽ được phát hiện. Một tám điện cực khác chính là đối tượng cần được phát hiện và một tám kia chính là bề mặt của cảm biến. Đối tượng cũng có thể được phát hiện phụ thuộc vào những giá trị điện môi của chúng.



**Hình 2.4 Nguyên lý hoạt động cảm biến tiệm cận điện dung**

+ **Cảm biến siêu âm[10]:** có nguyên lý hoạt động dựa trên quá trình cho và nhận, có nghĩa là hệ thống cảm biến sẽ liên tục phát ra các sóng âm thanh ngắn với tần số cao hơn mức mà con người có thể nghe và có tốc độ lan truyền mạnh. Khi các sóng âm này gặp phải vật cản là chất rắn hay chất lỏng thì sẽ tạo ra các bước sóng phản hồi.

Sau cùng, thiết bị cảm biến sẽ tiếp nhận, phân tích và xác định chính xác khoảng cách từ cảm biến đến vật cản.



**Hình 2.5 Nguyên lý hoạt động cảm biến siêu âm**

+ **Camera:** Hình ảnh được lấy từ camera, thông qua xử lý và đưa ra tín hiệu điều khiển. Có độ chính xác cao, ít bị nhiễu nhưng yêu cầu xử lý nhiều, tốc độ xử lý ảnh cần nhiều thời gian

**Bảng 8 So sánh cảm biến phát hiện vật cản**

	Cảm biến tiệm cận	Cảm biến siêu âm	Camera
Ưu điểm	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Có sự ổn định tốt, chi phí thấp</li> <li>+ Tốc độ xử lý nhanh.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Giá thành thấp</li> <li>+ Dễ dàng giao tiếp với bộ vi điều khiển hoặc bất kỳ bộ điều khiển nào</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Độ chính xác cao</li> <li>-</li> </ul>
Nhược điểm	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ và độ ẩm</li> <li>+ Phạm vi hoạt động có thể bị hạn chế</li> <li>+ Chỉ phát hiện được mục tiêu kim loại</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Rất nhạy với sự thay đổi nhiệt độ từ 5 - 10C trở lên</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Giá thành cao</li> <li>+ Thuật toán xử lý khó</li> </ul>

**Nhận xét:** Dựa vào tiêu chí giá thành thấp, dễ xử lý dữ liệu, kích thước nhỏ gọn ta lựa chọn cảm biến siêu âm cho cảm biến tránh vật cản.

### 2.3.3 Chọn lựa cách bố trí cảm biến

Bố trí dạng ma trận là một cách bố trí với nhiều cảm biến nên sẽ có nhiều thông tin để tìm vị trí và hướng của xe nhưng nó sử dụng nhiều cảm biến nên cần phải lựa chọn hợp lý phụ thuộc vào kích thước, tốc độ đáp ứng của xe

Bố trí dạng đường thẳng vẫn đảm bảo đủ thông tin về vị trí để xử lý và ít cảm biến hơn nên dạng đường thẳng vẫn thích hợp cho việc xác định đường

**Bảng 9 Nhận xét cách bố trí cảm biến**

	Bố trí theo dãy	Bố trí dạng ma trận
Nhận xét	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Cách bố trí đơn giản</li> <li>+ Tốc độ xử lý tín hiệu nhanh</li> <li>+ Thuật toán xử lý tín hiệu đơn giản</li> <li>+ Chi phí thấp</li> <li>+ Kích thước nhỏ gọn, dễ bố trí</li> <li>+ Sai số tương đối lớn</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Cách bố trí phức tạp</li> <li>+ Tốc độ xử lý tín hiệu chậm, yêu cầu vi xử lý mạnh</li> <li>+ Thuật toán xử lý tín hiệu phức tạp</li> <li>+ Chi phí cao</li> <li>+ Kích thước lớn, khó bố trí</li> <li>+ Sai số tương đối thấp</li> </ul>

**Nhận xét:** Dựa vào tiêu chí về chi phí, khả năng gia công, thuật toán đơn giản, ta lựa chọn bố trí cảm biến theo dãy

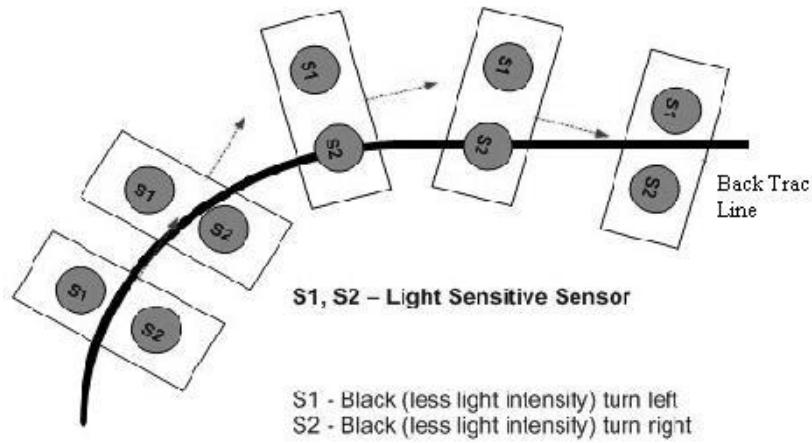
### 2.4 Lựa chọn phương án điều khiển

#### 2.4.1 Lựa chọn bộ điều khiển

**Bộ điều khiển ON-OFF [7]:** Điều khiển đơn giản, khi cấp nguồn ON động cơ sẽ chạy và ngược lại, ngắt nguồn OFF thì động cơ dừng hoạt động theo thiết kế trước. Đặc điểm: Dễ chế tạo nhưng không chính xác.

#### Nguyên tắc bấm line:

+ Sử dụng 2 cảm biến quang điện (giả sử theo chiều ở trên là bánh xe-cảm biến trái, ở dưới là bánh xe-cảm biến phải) cảm biến nào gặp line đen thì động cơ tương ứng sẽ bị tắt. Cụ thể.

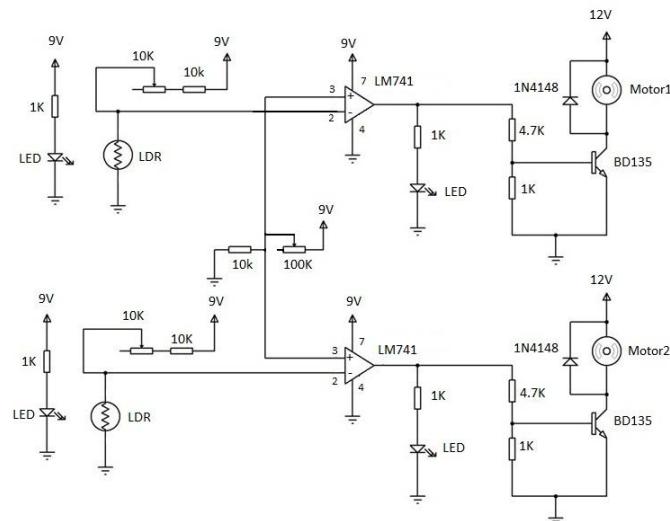


**Hình 2.6 Cấu tạo nguyên lý làm việc bộ điều khiển ON-OFF**

+ Khi cảm biến nào chạm line đen, điện trở LDR ở mạch cảm biến đó tăng lên, làm điện áp tại chân âm (chân 2) của opamp tăng (khoảng 2,7V) lên đạt ngưỡng nhất định gọi là giá trị điện áp tham chiếu (giá trị cài đặt tại chân dương (chân 3) của opamp, có thể điều chỉnh bằng biến trở 100K ở giữa), khi đó output opamp sẽ bằng 0, dẫn đến điện áp chân Base của transistor BD135 bằng 0, transistor không dẫn điện nên động cơ tương ứng với cảm biến chạm line đen sẽ dừng hoạt động.

+ Ngược lại, khi cả 2 cảm biến đều không chạm line đen, các điện trở LDR giảm làm điện áp tại chân âm (chân 2) của opamp (còn 1,1V) vì dòng bị dẫn qua điện trở xuống đất, từ đó động cơ sẽ chạy bình thường.

+ Điện áp tham chiếu =  $(2,7+1,1)/2 = 1,9V$  là điện áp cài đặt cho đầu dương của opamp.



**Hình 2.7 Sơ đồ mạch điện bộ điều khiển ON-OFF**

**Bộ điều khiển Fuzzy [11]:** bài toán điều khiển dựa trên tỉ lệ xác xuất xảy ra một mức độ nào đó của một sự việc.

**Bộ điều khiển PD/PID [5]:** tính toán sai số giữa giá trị mong muốn và giá trị cảm biến. Thuật toán giúp giảm sai số bằng cách điều khiển giá trị đầu vào. Ưu điểm là đạt kết quả khá chính xác trong phần tuyến tính. Nhược điểm: xảy ra nhiễu ở khâu vi phân dẫn đến sai số ở giá trị đầu ra.

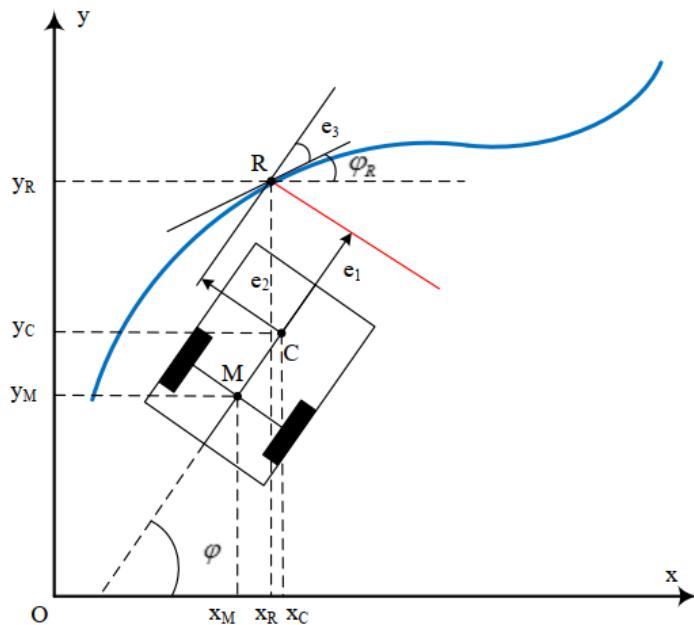
Nghiên cứu cho thấy ưu điểm vượt trội của bộ điều khiển PID về các thông số: Tốc độ, Sai số bám line.[5]

*Table 1– Experimental result for Line Following Robot.*

Criteria	Dynamic PID algorithm	Simple (on/off)
Time to complete one whole circuit	47.6s	71.4s
Line tracking	Smooth	Not so smooth
Velocity	0.2m/s	0.14m/s
Tendency to astray from line	Low	High

#### *Hình 2.8 So sánh bộ điều khiển PID và ON-OFF*

**Bộ điều khiển Following tracking [12][13][14][15]:** bộ điều khiển xét tới 3 thông số của robot và line theo tiếp tuyến e1, pháp tuyến e2 và theo góc lệch của robot với line e3 để điều khiển robot thông qua các biến điều khiển là vận tốc góc và vận tốc dài. Cho kết quả bám line tốt và sai số nhỏ.



**Hình 2.9 Mô hình hóa động học robot áp dụng bộ điều khiển tracking**

Sai số được đo theo các phương: x, y, wz (quay quanh trục Z) lần lượt là  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$

**Kết luận:** Sử dụng 2 giải thuật điều khiển

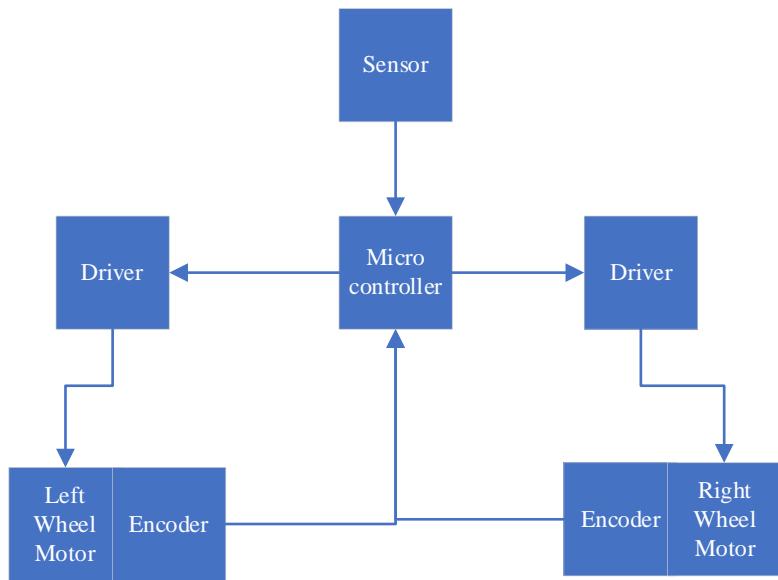
**Giải thuật điều khiển tracking:** phân tích sai số động học của xe từ đó điều khiển ổn định tốc độ động cơ từ tín hiệu cảm biến đo được: áp dụng điều khiển nâng cao theo tiêu chuẩn Lyapunov.

**Điều khiển vòng kín tốc độ động cơ:** PID vì có thể kiểm soát được giá trị thực vị trí vận tốc hiện tại của bánh xe nhờ vào tín hiệu encoder trả về, sai số luôn được điều chỉnh dần về 0.

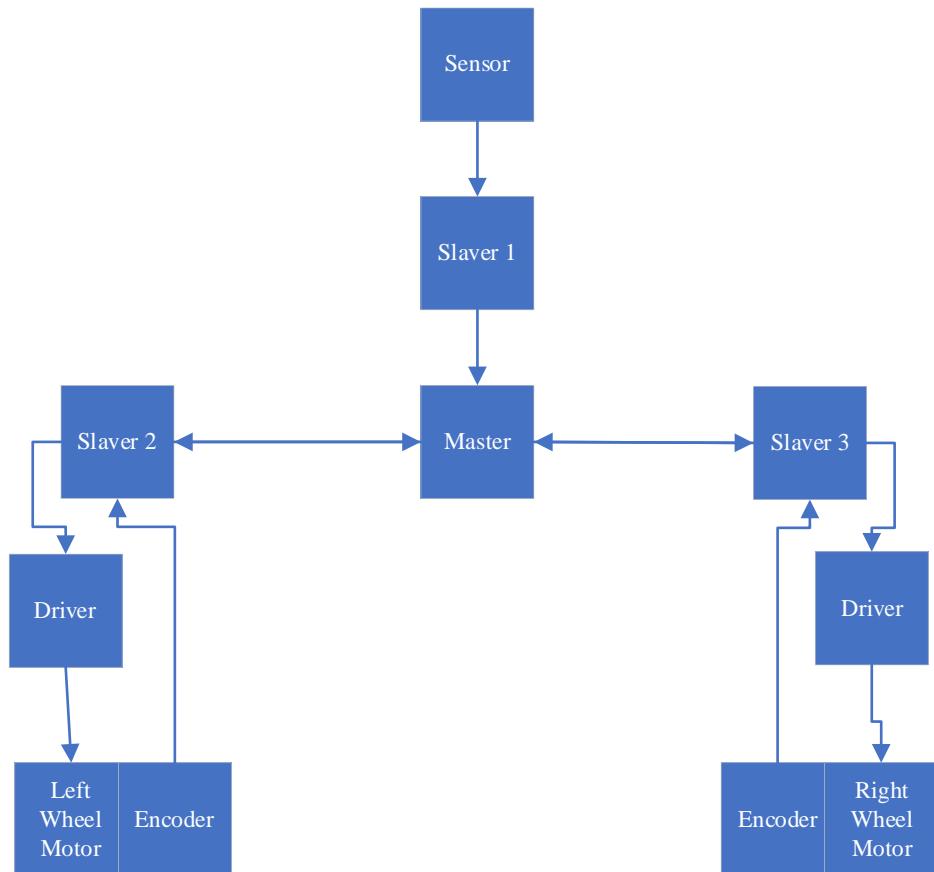
**Nguyên lý hoạt động hệ thống điều khiển:** Sau khi tín hiệu trả về từ sensor dưới dạng số sẽ được vi điều khiển xử lý đưa ra sai số thành phần, kể đến sẽ áp dụng tiêu chuẩn ổn định lyaponouv để đưa ra vận tốc động cơ trái và động cơ phải. Vận tốc động cơ trái và phải sẽ được vi điều khiển xử lý và truyền tín hiệu điều khiển dưới dạng xung pwm cho driver tương ứng. Vì điều khiển nhận xung encoder trả về và áp dụng giải thuật PID để đảm bảo vận tốc xe đáp ứng được giá trị đã được tính toán.

#### 2.4.2 Lựa chọn cấu trúc điều khiển

Ta có 2 cấu trúc điều khiển: cấu trúc điều khiển tập trung và cấu trúc điều khiển phân cấp.



*Hình 2.10 Cấu trúc điều khiển tập trung*



*Hình 2.11 Cấu trúc điều khiển phân cấp*

**Bảng 10 So sánh cấu trúc tập trung và phân cấp**

	Cấu trúc tập trung	Cấu trúc phân cấp
Ưu điểm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quản lý chương trình dễ dàng</li> <li>- Dễ nắm bắt, theo dõi chương trình</li> <li>- Chi phí thấp</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chương trình được phân ra nên dễ chỉnh sửa</li> <li>- Giảm thiểu khối lượng tính toán cho master</li> <li>- Xử lý nhiều tác vụ cùng lúc</li> </ul>
Nhược điểm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Khối lượng tính toán lớn</li> <li>- Chương trình thực thi có thể chậm hơn vì phải thực hiện tuần tự từng tác vụ</li> </ul>	Chiếm diện tích nhiều khi lắp đặt

**Nhận xét:** Ta chọn lựa cấu trúc điều khiển phân cấp để giảm khối lượng tính toán cho 1 vi điều khiển master, giúp tối ưu thuật toán và giải thuật.

#### 2.4.3 Lựa chọn phương thức giao tiếp

**Bảng 11 So sánh các phương thức giao tiếp**

	UART	I2C	CAN
Khả năng kết nối	1 master-1 slave	Nhiều master- nhiều slave	Nhiều master-nhiều slave
Chế độ		Bán song công (half-duplex)	Cần CAN transceiver (MCP2551) và CAN controller (MCP2510) cho các dòng vi điều khiển không tích hợp chuẩn CAN
Khả năng chống nhiễu	Khả năng bị nhiễu đều cao hơn CAN		Tốt nhất
Tốc độ truyền	9600 bps - 115200 bps	100Kps (chế độ chuẩn)-10Kps (chế độ thấp)	1 Mbps (tối đa)

--	--	--	--

**Nhận xét:** Ta lựa chọn phương thức giao tiếp : Giao tiếp master và slaver 1 là: RX, TX; Giao tiếp master và slaver 2 là: I2C

#### 2.4.4 Lựa chọn vi điều khiển

**Bảng 12 Tiêu chí cho các vi điều khiển**

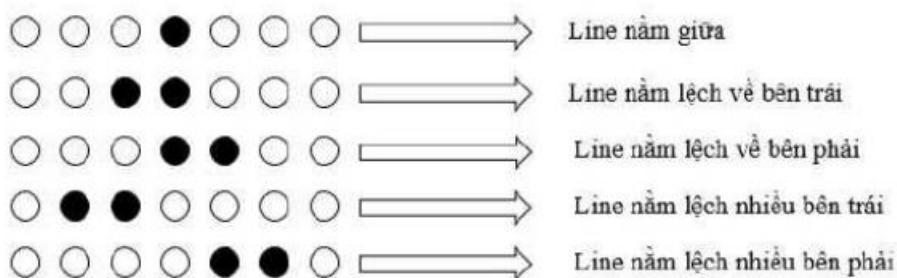
Vi điều khiển chính	Vi điều khiển cảm biến	Vi điều khiển động cơ
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nhỏ gọn</li> <li>- Có 2 cổng để giao tiếp với 2 Slave</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Đầu 7 đầu vào Analog để đọc tín hiệu từ 7 cảm biến</li> <li>- Có 1 cổng giao tiếp giữa master và slave</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Có 2 chân ngắt ngoài để đọc xung encoder trả về từ động cơ</li> <li>- Có 1 cổng giao tiếp với Master</li> <li>- Có 2 châm PWM để điều khiển động cơ</li> </ul>

**Nhận xét:** Dựa vào các tiêu chí trên, ta chọn vi điều khiển ATmega328P DIP cho Master và Slave động cơ; Vi điều khiển ATmega328 TQFP (Arduino Nano) cho slave cảm biến

#### 2.4.4 Lựa chọn giải thuật xác định tọa độ tâm line

Ta có 3 giải thuật có để thể xác độ tọa độ tâm line: Giải thuật so sánh, giải thuật trọng số trung bình, giải thuật nội suy hàm bậc 2

**Giải thuật so sánh:** Dùng bộ so sánh [7][16][17][18]: để xác định trạng thái đóng/ngắt của các sensor, sau đó suy ra vị trí xe theo một bảng trạng thái đã định sẵn. Với phương pháp này, sai số dò line sẽ phụ thuộc vào khả năng phân biệt các trạng thái của hệ thống sensor, hay khoảng cách giữa các sensor. Nó phụ thuộc chủ yếu vào mức ngưỡng so sánh của các sensor, do đó tốc độ xử lý rất nhanh.



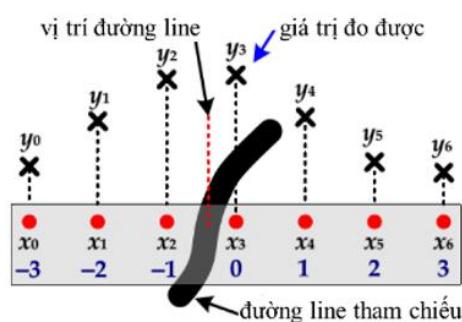
**Hình 2.12 Mức so sánh của cảm biến ứng với các vị trí line khi xe di chuyển**

**Nhận xét:** Độ phức tạp thấp nhất, sai số lớn không đáp ứng sai số bám line  $\pm 3\text{mm}$

**Giải thuật trọng số trung bình và giải thuật nội suy bậc 2 :** Xấp xỉ ra vị trí của xe so với tâm đường line từ các tín hiệu tương tự từ cảm biến.

Phương pháp này là phụ thuộc chủ yếu vào thời gian đọc ADC tất cả các sensor của vi điều khiển, do đó thời gian xử lý sẽ lâu hơn phương pháp giải thuật so sánh . Tuy nhiên độ phân giải cao hơn đáng kể so với phương án sử dụng giải thuật so sánh.

**Giải thuật trọng số trung bình[19]:** đọc về giá trị tất cả các cảm biến, tìm vị trí đường line theo công thức tương tự tìm khỏi tâm, giả sử có n sensor ta có vị trí tâm đường line:



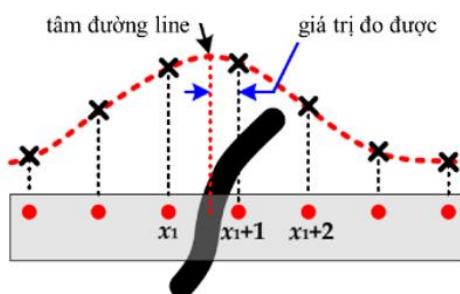
**Hình 2.13 Giải thuật trọng số trung bình**

$$x = \frac{\sum_1^n x_i \cdot y_i}{\sum_1^n y_i}$$

### Giải thuật xấp xỉ trọng số

**Nhận xét:** Độ phức tạp tương đối thấp, sai số thấp.

**Giải thuật nội suy hàm bậc 2:** chọn 3 sensor có giá trị đọc về cao nhất [19]



**Hình 2.14 Giải thuật nội suy bậc 2**

- Nếu  $\Delta x = 1$  thì:

$$y_1 = ax_1^2 + bx_1 + c$$

$$y_2 = a(x_1 + 1)^2 + b(x_1 + 1) + c$$

$$y_3 = a(x_1 + 2)^2 + b(x_1 + 2) + c$$

Với  $x_1$  là tọa độ điểm đầu tiên trong 3 điểm có tín hiệu cao nhất.

$y_1, y_2, y_3$  lần lượt là 3 giá trị analog cao nhất trong 8 tín hiệu.

$$\text{Suy ra } a = \frac{(y_1 + y_3 - 2y_2)}{2}; b = y_2 - y_1 - 2ax_1 - a$$

$$\text{Cực trị hàm bậc 2: } x = -\frac{b}{2a}$$

Nếu hệ trực tọa độ đặt tại tâm dây cảm biến thì  $\text{error} = x$  và  $\text{error max} = L/2$  (định của hàm bậc 2 cao nhất là ở 2 biên)

- Nếu  $\Delta x \neq 1$  thì các hệ số  $a, b$  thay đổi thành:

$$a = \frac{y_1 + y_3 - 2y_2}{2\Delta x^2}; b = \frac{y_2 - y_1 - 2ax_1\Delta x - a\Delta x^2}{\Delta x}$$

**Nhật xét:** Độ phức tạp tương lớn; Sai số nhỏ, ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu

**Kết luận:** Phương pháp trọng số trung bình có sai số thấp và thời gian đáp ứng nhanh hơn nên ta chọn giải thuật trọng số trung bình

## CHƯƠNG 3: SƠ ĐỒ GANT

### 3.1. Sơ đồ GANT sơ bộ

Nội dung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Chương 1: TỔNG QUAN</b>															
Tìm hiểu tổng quan															
Xác định mục tiêu, phương án thiết kế															
Hiệu chỉnh tổng quan và xác định đầu bài thiết kế															
<b>Chương 2: LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ</b>															
Đề xuất các phương án thiết kế															
Vẽ sơ đồ nguyên lý															
Chọn phương án khả thi và điều chỉnh sơ đồ nguyên lý															
<b>Chương 3: SƠ ĐỒ GANT</b>															
<b>Chương 4: THIẾT KẾ</b>															
<b>1. Cơ khí</b>															
Tính toán và chọn động cơ															
Thiết kế các chi tiết và các cụm chi tiết															
Thiết kế bản vẽ 2D, 3D															
<b>2. Điện</b>															
Xây dựng sơ đồ khối cho hệ thống															
Tính toán, lựa chọn cảm biến															
Tính toán, lựa chọn driver															
Tính chọn, lựa chọn nguồn điện															
<b>3. Máy tính</b>															
Xác định sơ đồ khối chung của hệ thống															
Xác định yêu cầu, lựa chọn mạch điều khiển, tìm hiểu mạch điều khiển															
Xây dựng giải thuật điều khiển và lập trình hệ thống															
<b>4. Mô phỏng</b>															
Mô hình hóa động học, động lực học hệ thống															
Thiết kế bộ điều khiển theo yêu cầu															
Xác định và mô phỏng các thông số thích hợp cho bộ điều khiển															
<b>Chương 5: LÀM THỰC NGHIỆM</b>															
Xác định yêu cầu đề bài															
Xác định yêu cầu thông qua các thông số															
Chạy thử thực tế															
Đánh giá kết quả theo thông số yêu cầu															
Hiệu chỉnh lại hệ thống (nếu có)															
<b>Chương 6: HOÀN THÀNH BÁO CÁO</b>															
<b>Chương 7: BÁO VỆ</b>															

### 3.2. Sơ đồ GANT tiến độ thật công việc

Nội dung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Chương 1: TỔNG QUAN</b>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Tìm hiểu tổng quan	■	■													
Xác định mục tiêu, phương án thiết kế	■	■													
Hiệu chỉnh tổng quan và xác định đầu bài thiết kế			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Chương 2: LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ</b>			■	■	■										
Đề xuất các phương án thiết kế			■												
Vẽ sơ đồ nguyên lý			■												
Chọn phương án khả thi và điều chỉnh sơ đồ nguyên lý				■											
<b>Chương 3: SƠ ĐỒ GANT</b>				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Chương 4: THIẾT KẾ</b>				■	■	■	■	■							
<b>1. Cơ khí</b>				■	■	■	■	■							
Tính toán và chọn động cơ				■											
Thiết kế các chi tiết và các cụm chi tiết					■	■									
Thiết kế bản vẽ 2D, 3D															
<b>2. Điện</b>				■	■	■	■	■							
Xây dựng sơ đồ khối cho hệ thống				■											
Tính toán, lựa chọn cảm biến					■	■	■	■							
Tính toán, lựa chọn driver						■	■	■	■						
Tính chọn, lựa chọn nguồn điện						■	■	■	■						
<b>3. Máy tính</b>				■	■	■	■	■							
Xác định sơ đồ khối chung của hệ thống				■	■										
Xác định yêu cầu, lựa chọn mạch điều khiển, tìm hiểu mạch điều khiển					■	■	■	■							
Xây dựng giải thuật điều khiển và lập trình hệ thống						■	■	■							
<b>4. Mô phỏng</b>				■	■	■	■	■							
Mô hình hóa động học, động lực học hệ thống				■	■										
Thiết kế bộ điều khiển theo yêu cầu					■	■									
Xác định và mô phỏng các thông số thích hợp cho bộ điều khiển						■	■	■							
<b>Chương 5: LÀM THỰC NGHIỆM</b>							■	■	■	■	■	■	■	■	■
Xác định yêu cầu đề bài							■	■							
Xác định yêu cầu thông qua các thông số								■							
Chạy thử thực tế									■	■	■	■	■	■	■
Đánh giá kết quả theo thông số yêu cầu										■	■	■	■	■	■
Hiệu chỉnh lại hệ thống (nếu có)										■	■	■	■	■	■
<b>Chương 6: HOÀN THÀNH BÁO CÁO</b>											■	■	■		
<b>Chương 7: BÁO VỆ</b>													■		

### 3.3. Sơ đồ GANT cuối cùng

Nội dung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Chương 1: TỔNG QUAN</b>															
Tìm hiểu tổng quan															
Xác định mục tiêu, phương án thiết kế															
Hiệu chỉnh tổng quan và xác định đầu bài thiết kế															
<b>Chương 2: LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ</b>															
Đề xuất các phương án thiết kế															
Vẽ sơ đồ nguyên lý															
Chọn phương án khả thi và điều chỉnh sơ đồ nguyên lý															
<b>Chương 3: SƠ ĐỒ GANT</b>															
<b>Chương 4: THIẾT KẾ</b>															
<b>1. Cơ khí</b>															
Tính toán và chọn động cơ															
Thiết kế các chi tiết và các cụm chi tiết															
Thiết kế bản vẽ 2D, 3D															
<b>2. Điện</b>															
Xây dựng sơ đồ khối cho hệ thống															
Tính toán, lựa chọn cảm biến															
Tính toán, lựa chọn driver															
Tính chọn, lựa chọn nguồn điện															
<b>3. Máy tính</b>															
Xác định sơ đồ khối chung của hệ thống															
Xác định yêu cầu, lựa chọn mạch điều khiển, tìm hiểu mạch điều khiển															
Xây dựng giải thuật điều khiển và lập trình hệ thống															
<b>4. Mô phỏng</b>															
Mô hình hóa động học, động lực học hệ thống															
Thiết kế bộ điều khiển theo yêu cầu															
Xác định và mô phỏng các thông số thích hợp cho bộ điều khiển															
<b>Chương 5: LÀM THỰC NGHIỆM</b>															
Xác định yêu cầu đề bài															
Xác định yêu cầu thông qua các thông số															
Chạy thử thực tế															
Đánh giá kết quả theo thông số yêu cầu															
Hiệu chỉnh lại hệ thống (nếu có)															
<b>Chương 6: HOÀN THÀNH BÁO CÁO</b>															
<b>Chương 7: BÁO VỆ</b>															

## CHƯƠNG 4: THIẾT KẾ

### 4.1. Thiết kế cơ khí

#### 4.1.1 Lựa chọn bánh chủ động và bánh bị động

Có 2 loại bánh bị động thường dùng cho xe dò line là: bánh castor, bánh măt trâu.

#### 4.1.2 Tính toán và lựa chọn động cơ

- Thông số đầu vào:

+ Kết cấu xe 3 bánh: 2 bánh dẫn động ở trước, 1 bánh tự lựa ở sau

Vận tốc tối đa mong muốn:  $v_{max} = 0,7 \text{ m/s}$

+ Thời gian tăng tốc mong muốn: 1s (vận tốc tăng từ 0m/s đến 0.7 m/s lúc xuất phát).

Suy ra gia tốc khởi động:  $a = \frac{dv}{dt} = \frac{0.7}{1} = 0.7 \text{ m/s}^2$

- Thông số đầu vào:

+ Vận tốc tối đa:  $v_{max} = 0,7 \text{ m/s}$

+ Gia tốc:  $a = 0.7 \text{ m/s}^2$

+ Bán kính xe:  $R = 32,5 \text{ mm}$

+ Khối lượng bánh xe:  $m = 0,02 \text{ kg}$

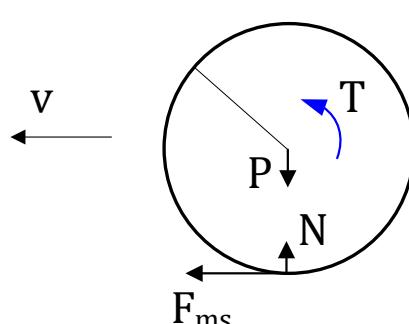
+ Khối lượng tải (giả sử):  $M = 0,8 \text{ kg}$

+ Hệ số ma sát:  $\mu_t = 0,8$  (lốp cao su tiếp xúc với sàn bê tông khô ráo)<sup>[20]</sup>

+ Hệ số an toàn:  $s = 1,2$  <sup>[21]</sup>

- Mô hình động học, xét trạng thái bánh xe lăn về phía trước với vận tốc dài

$$a = 1 \text{ m/s}^2$$



**Hình 4.1 Mô hình động học bánh xe**

#### Tính toán:

Moment quán tính của bánh xe (xem bánh xe là đĩa trong đặc):

$$I = \frac{1}{2} m R^2 \quad (4.1)$$

Giả sử tải trọng xe phân bố đều, toàn bộ lên 2 bánh xe dẫn động. Suy ra trọng lực tác dụng lên 1 bánh xe là:

$$P = \left(m + \frac{M}{2}\right) g \quad (4.2)$$

Áp dụng định luật 2 Newton:

- Phương trình moment quay quanh trục bánh xe:

$$T - F_{ms}R = I\gamma$$

$$\text{với: } \gamma = \frac{a}{R}$$

Suy ra

$$T = F_{msl}R + \frac{Ia}{R} \quad (4.3)$$

- Phương trình cân bằng lực theo phương thẳng đứng và từ (4.2) suy ra:

$$N = P = \left(m + \frac{M}{2}\right)g \quad (4.4)$$

- Phương trình lực theo phương ngang

$$F_{msl} = \left(m + \frac{M}{2}\right)a \quad (4.5)$$

Từ (4.1), (4.4), (4.5) thê vào (4.3) ta được moment kéo động cơ bánh xe là:

$$T = \left(m + \frac{M}{2}\right)aR + \frac{1}{2}mRa \quad (4.6)$$

$$T = \left(0,025 + \frac{0,8}{2}\right).1.0,0325 + \frac{1}{2}.0,025.0,0325.1 = 0,014(\text{Nm})$$

Để bánh xe lăn không trượt khi chuyển động:

$$F_{ms} \leq F_{mst} = \mu_t N = \mu_t \left(m + \frac{M}{2}\right)g \quad (4.7)$$

Thê (4.7) vào (4.3) ta có:

$$T \leq \mu_t \left(m + \frac{M}{2}\right)gR + \frac{1}{2}mRa$$

Moment động cơ lớn nhất để bánh xe lăn không trượt:

$$T_{tr} = \mu_t \left(m + \frac{M}{2}\right)gR + \frac{1}{2}mRa \quad (4.8)$$

$$T_{tr} = 0,8 \left(0,025 + \frac{0,8}{2}\right).9,81.0,0325 + \frac{1}{2}.0,025.0,0325.1 = 0,1088(\text{Nm})$$

Vận tốc góc động cơ là:

$$\omega_0 = \frac{V_{\max}}{R} \quad (4.9)$$

$$\omega_0 = 21,54(\text{rad/s})$$

⇒ Số vòng quay động cơ:

$$n_0 = \frac{60\omega}{2\pi} = 206 \text{ rpm}$$

- Hệ số an toàn cho cả tốc độ và moment:  $s = 1,2$
- Vận tốc tối đa của động cơ:  $\omega = 25,85 \text{ rad/s}$

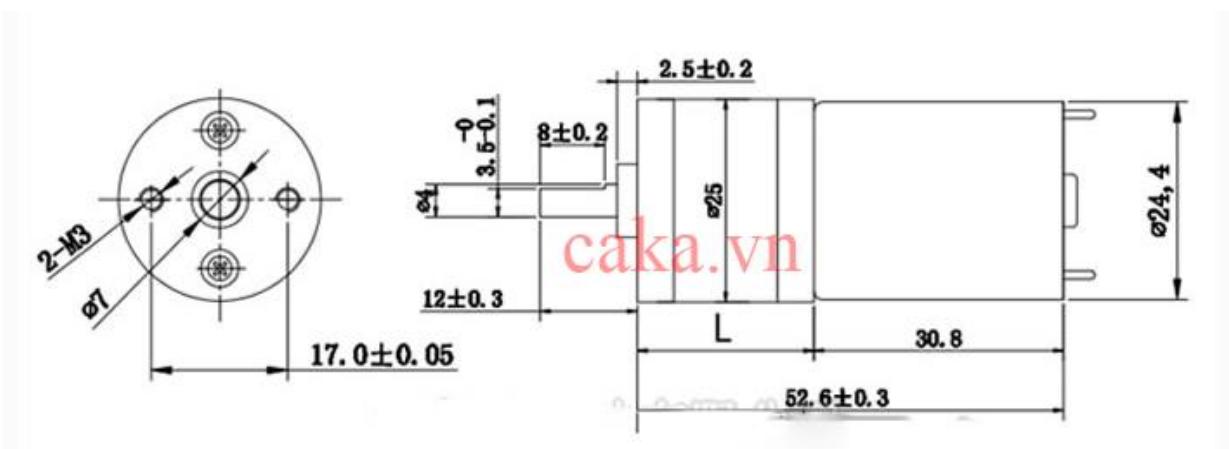
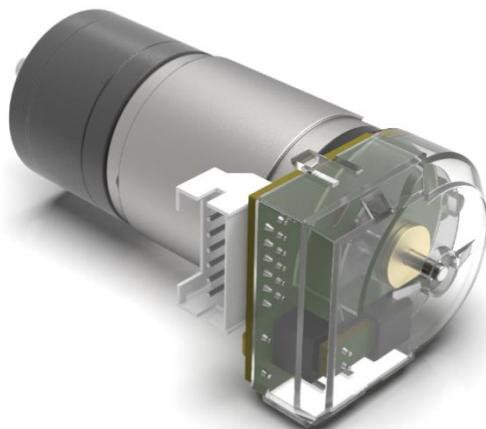
⇒ Số vòng quay động cơ:  $n = \frac{60\omega}{2\pi} = 247 \text{ rpm}$

Moment hoạt động của động cơ:  $T = 0,1088 \text{ Nm}$

Công suất của động cơ là:

$$P = \omega T = 25,85 \cdot 0,1088 = 2.8 \text{ W}$$

- Chọn động cơ: DC giảm tốc GA25 280rpm<sup>[22]</sup>



Hình 4.2 Động cơ GA25 280rpm và các thông số kích thước

### Các thông số kỹ thuật:

- Công suất định mức: 4W.
- Điện áp định mức: 12V.
- Dòng khi không tải/khi bị giữ: 0,1A/0,45A.
- Tốc độ động cơ khi không tải: 280rpm.
- Moment hoạt động/ Moment bị giữ: 0,056Nm/0,167Nm.
- Kích thước động cơ: D25xL75 mm.
- Khối lượng: 104g.
- Hộp giảm tốc: tỉ số truyền 21,3:1, đã tích hợp bên trong động cơ.
- Encoder: 2 kênh A, B, số xung khi qua hộp giảm tốc là 235 xung, điện áp định mức encoder 3,3V.
- Trục động cơ: D = 4mm.

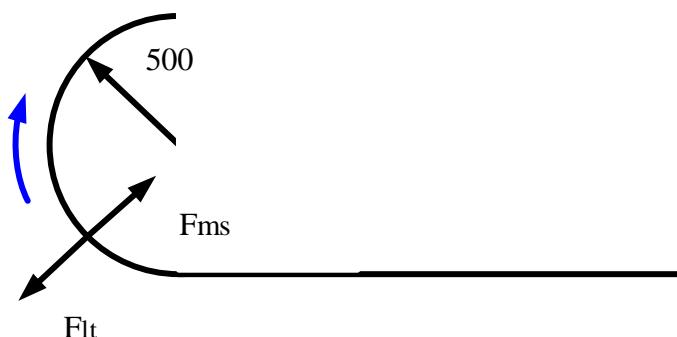
(Dùng khớp nối lục giác chuyển từ 12mm (đường kính trục bánh xe) đến chốt gắn với động cơ có đường kính 4mm [23]).

- Với tốc độ lớn nhất thì moment động cơ tác dụng lên bánh xe đạt cực đại

$$0,0167 \text{Nm} < T_{tr} = 0,0692 \text{Nm}$$

### Bánh xe đảm bảo lăn không trượt trên toàn quỹ đạo

#### 4.1.3 Xét điều kiện để xe vào cua không bị trượt



**Hình 4.3 Phân tích lực gây trượt cho bánh xe khi vào cua**

Bán kính cua:  $R_0 = 500\text{mm}$

Gọi  $F_{lt}$  là lực li tâm, để xe vào cua không bị trượt thì:

$F_{mst} \geq F_{lt}$  (xét cả xe)

$$\Leftrightarrow \mu_t(2m + M)g \geq \frac{(2m + M)v^2}{R_0}$$

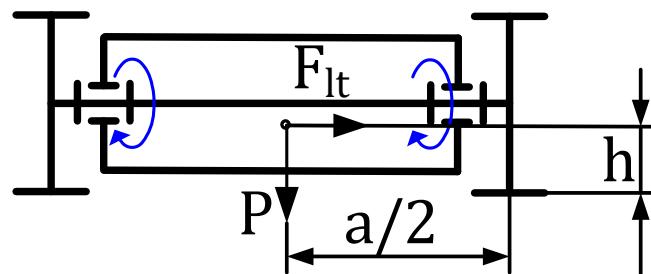
$$\Leftrightarrow \mu_t g \geq \frac{v^2}{R_0}$$

$$\Leftrightarrow v \leq \sqrt{\mu_t g R_0} = \sqrt{0.8 \cdot 9.81 \cdot 0.5} = 2 \text{m/s}$$

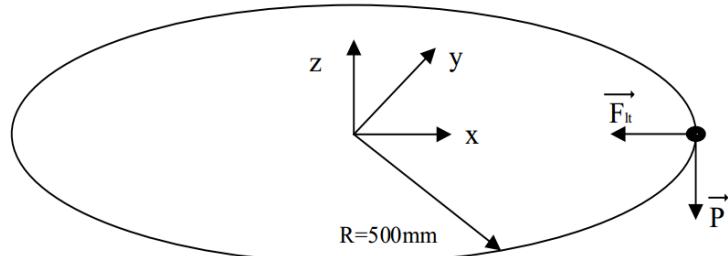
$\Rightarrow$  Xe đảm bảo không trượt khi vào cua.

#### 4.1.4 Xét điều kiện để vào cua không lật

Tại các đoạn đường chuyển hướng, xe có khả năng bị lật khi trọng tâm xe cao so với mặt đường. Để tránh lật, moment sinh ra do trọng lực quanh tâm quay C phải lớn hơn moment của lực li tâm.



**Hình 4.4 Phân tích lực gây lật khi vào cua**



**Hình 4.5 Mô hình toán khi xe chạy qua đoạn cong có bán kính 500mm**

Gọi:

Trọng tâm xe cách sàn một khoảng  $h$ .

Khoảng cách trọng tâm xe đến tâm bánh xe theo phương ngang (với  $a$  là khoảng cách tâm 2 bánh xe) là:  $\frac{a}{2}$

Trọng lượng xe  $P$ .

- Phương trình cân bằng moment chọn gốc quay tại vị trí bánh xe tiếp xúc với sàn,

$$\begin{aligned}
 P \cdot \frac{a}{2} &\geq F_{lt} \cdot h \\
 \Leftrightarrow (2m + M)g \frac{a}{2} &\geq \frac{(2m + M)v^2}{R_0} h \\
 \Leftrightarrow \frac{x}{h} &\geq \frac{2v^2}{gR_0} = \frac{2 \cdot 1^2}{9,81 \cdot 0,5} = 1,63
 \end{aligned}$$

#### 4.1.5 Thiết kế thân xe và các bộ phận

*Quá trình tính toán các kích thước của xe được kiểm tra và thay đổi liên tục để có kết quả tốt nhất.*

- Chiều dài mỗi động cơ là 75m, đặt thành hàng ngang nên khoảng cách giữa 2 bánh xe  $\geq 150\text{mm}$ . Chọn khoảng cách tâm 2 bánh xe tối thiểu:

$$x = 150\text{mm}$$

- Trong tâm xe: xét điều kiện vào cua để không bị lật ta suy ra được quan hệ giữa khoảng cách tâm 2 bánh xe với chiều cao trọng tâm xe cách mặt đất là:

$$h \leq \frac{x}{1,63} = 85 \text{ mm}$$

Trong các thiết kế phần tổng quan

Bố trí linh kiện sao cho trọng tâm xe nằm ở càng thấp càng tốt.

Khoảng cách gầm dưới xe cách sàn: Bánh mặt trâu Hshop có chiều cao 15mm, suy ra chọn khoảng cách mặt dưới thân xe với mặt sàn:

$$k = 15\text{mm}$$

Suy ra trọng tâm xe nằm trong khoảng từ 15 đến 32,5mm.

Giả sử sau khi phân bố các linh kiện, trọng tâm xe cách mặt sàn trong khoảng (đã tính toán lại sau khi hoàn thành sản phẩm)

$$h = 20\text{mm}$$

➔ Thỏa.

- Tâm thân xe: vật liệu nhôm 6061.

Kiểm tra bền bằng Solidworks Simulation, suy ra độ dày tâm thân xe (nhỏ nhất thỏa bền) là:

$$i = 2 \text{ mm}$$

- Kích thước xe: phụ thuộc vào bố trí linh kiện và thiết kế nhỏ gọn nhất

Chiều dài: chọn theo việc bố trí các bộ phận (nằm ở 1 tầng thân xe)

$$a = 180\text{mm}$$

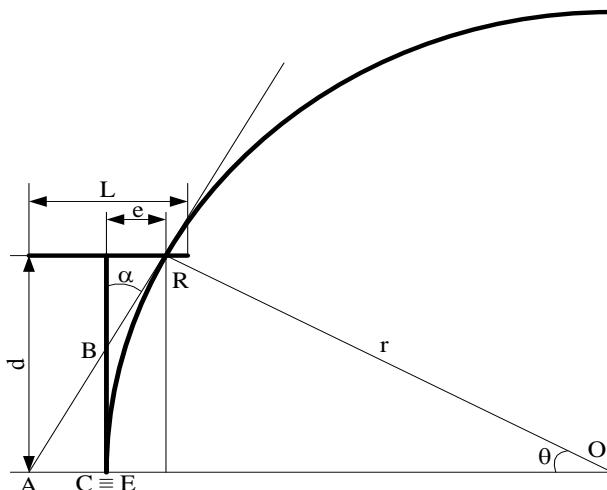
Chiều rộng: bằng khoảng cách 2 tâm bánh xe trừ đi 2 khoảng nhô ra ở 2 trục

$$b = 138\text{mm}$$

Chiều cao xe bằng đường kính bánh xe (cao nhất)

$$c = 65 \text{ mm}$$

- Khoảng cách từ tâm dây cám biên đến tâm trục bánh dẫn động:



**Hình 4.6 Mô hình biểu diễn lúc xe vào cua**

Gọi C là điểm cần điều khiển bám line, C trùng với tâm hai bánh dẫn động. Giả sử ở thời điểm t xe bắt đầu đầu vào cua với vận tốc v, ta điều khiển được C trùng với E.

Dựa vào quan hệ hình học ta tính được:

$$e = r - \sqrt{r^2 - d^2}$$

Với:

- e là sai số dò line (mm)
- r là bán kính cong (mm)
- d là khoảng cách từ cụm cảm biến đến tâm hai bánh dẫn động (mm)

Yêu cầu đề bài  $e \leq 3 \text{ (mm)}$ , và đề bài cho  $r = 500 \text{ (mm)}$ . Khi đó ta tính được :

$$d \leq \sqrt{2er - e^2} = \sqrt{2.3.500 - 3^2}$$

$$\Leftrightarrow d \leq 54,69 \text{ (mm)}$$

Khoảng cách này càng nhỏ thì xe càng ổn định [24], tuy nhiên khoảng cách này phải lớn hơn khoảng cách xe di chuyển được sau một lần lấy mẫu là, chọn

$$d = 30\text{mm}$$

- Thiết kế thân xe

**Bảng 13 Các kích thước cơ bản của khung thân xe**

Đối tượng	Thông số
Chiều dài	a = 180mm
Chiều rộng	b = 138mm
Chiều cao	c = 65mm
Khoảng cách từ tâm dãy cảm biến đến tâm trực bánh dẫn động	d = 30mm
Khoảng cách 2 bánh xe	x = 150mm
Chiều cao trọng tâm xe	h = 20mm
Độ dày thân xe	i = 2mm
Chiều cao gầm xe	k = 15mm

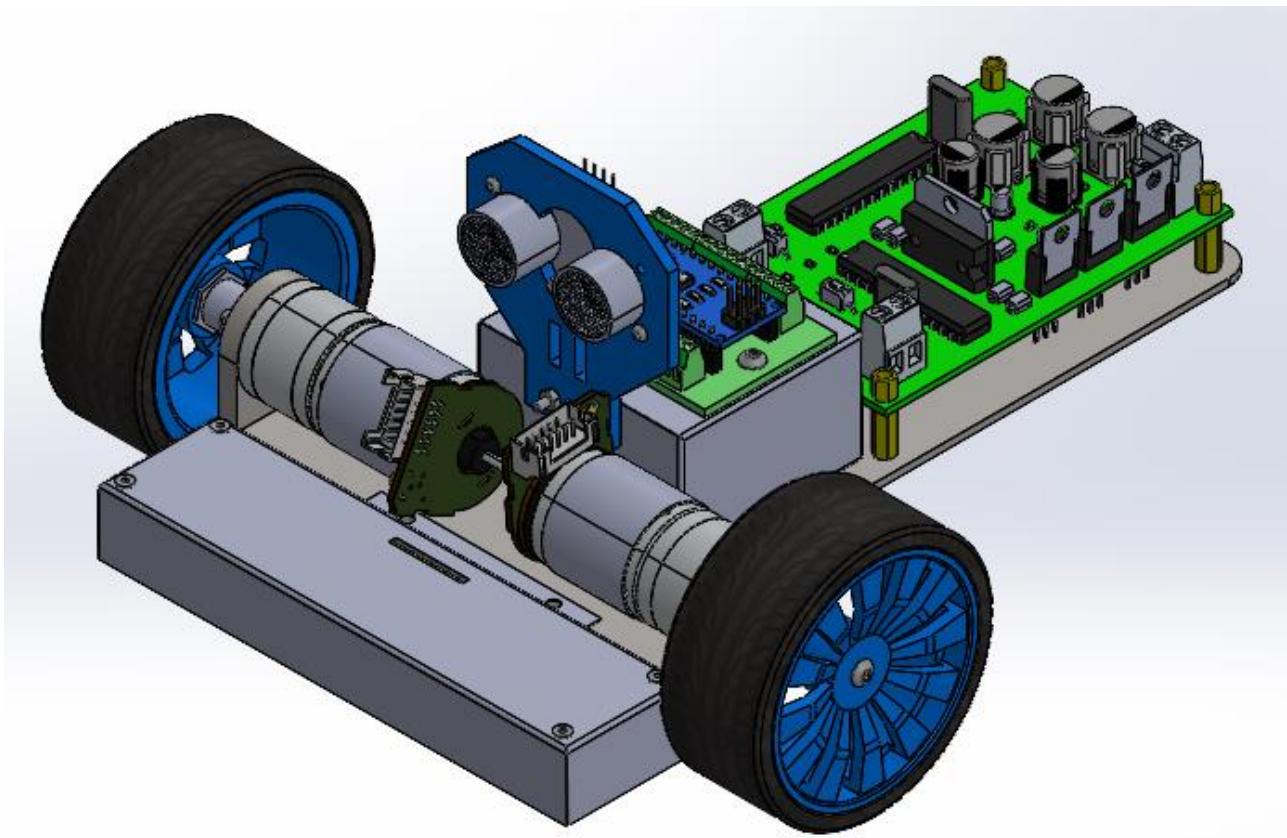
**Các kích thước bánh xe dẫn động, bánh tự lựa: được nêu tại phần 4.1.1**

**Các kích thước động cơ: phần 4.1.2**

**Kích thước bộ cảm biến:**

- + Chiều cao cảm biến so với mặt đất: 10 mm.
- + 7 cảm biến, khoảng cách mỗi cảm biến: 17mm.
- + Chiều dài x chiều rộng dãy cảm biến: 125x30mm.

**Model 3D xe**



**Hình 4.7 Model 3D xe**

#### **4.1.6 Kiểm bền tám thân xe**

Sử dụng Solidworks Simulation để kiểm tra độ bền của tám thân xe

##### **4.1.6.1 Phân tích tải trọng**

- Vật liệu tám xe: Nhôm tám 6061
- + Dày: 1,5mm
- + khối lượng riêng:  $2,7 \text{ g/cm}^3$
- + thể tích:  $14600 \cdot 1,5 = 21900 \text{ mm}^3 = 21.9 \text{ cm}^3$

$$\Rightarrow \text{Khối lượng: } 21.9 \cdot 2.7 = 59 \text{ g}$$

- Vật liệu gá động cơ: Nhôm 6061
  - + dày 5mm
  - + thể tích:  $600 \cdot 5 = 3000 \text{ mm}^3 = 3 \text{ cm}^3$
- Khối lượng 1 tám gá:  $3 \cdot 2.7 = 8.1 \text{ g}$
- **Tổng khối lượng 2 tám gá: 16.2g**
- Khối lượng pin:  $3 \cdot 100 = 300 \text{ g}$
  - Khối lượng hộp chứa pin:  $2.7(\text{g/cm}^3) \cdot 2.6(\text{cm}^3) = 7 \text{ g}$
- **Tổng khối lượng pin và hộp chứa pin là: 307 g**

- Khối lượng 1 động cơ: 104g => **2 động cơ: 208g**

- Tấm gá cảm biến: nhôm tấm 6061

+ dày 0,2mm

+ kg riêng: 2,7g/cm<sup>3</sup>

+ thể tích: 0,8cm<sup>3</sup>

➔ Khối lượng: 2,6g

- Tấm gá che cảm biến: nhôm tấm 6061

+ kg riêng: 2,7g/cm<sup>3</sup>

+ thể tích: 2 cm<sup>3</sup>

➔ Khối lượng: 5,4g

- Khối lượng mạch cảm biến: 50g

➔ Tổng khối lượng phần cảm biến là:  $2.6 + 5.4 + 50 = 58$  g

- Khối lượng mạch điều khiển cảm biến: 20g

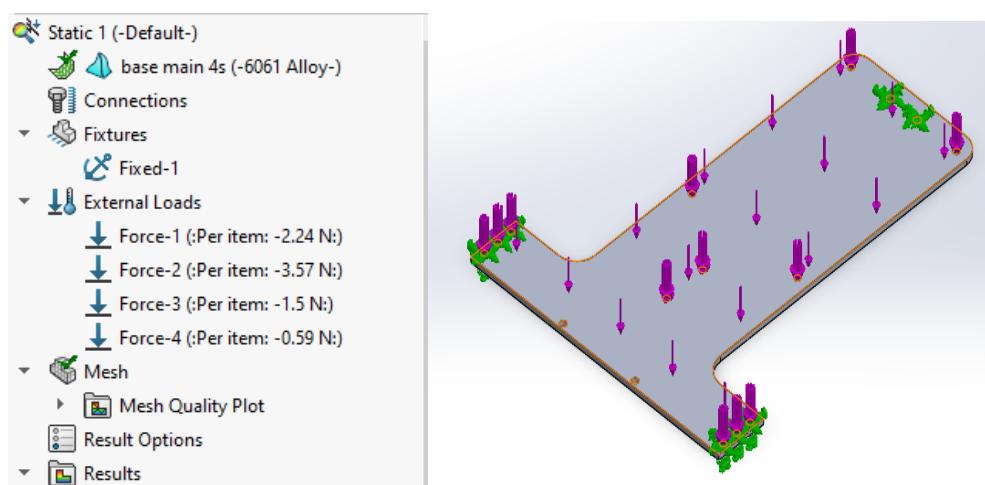
- Khối lượng mạch điều khiển chính: 150g

*Vị trí đặt lực phân bố được thể hiện ở phần tiếp theo.*

*Tổng trọng lượng của xe là: 800g.*

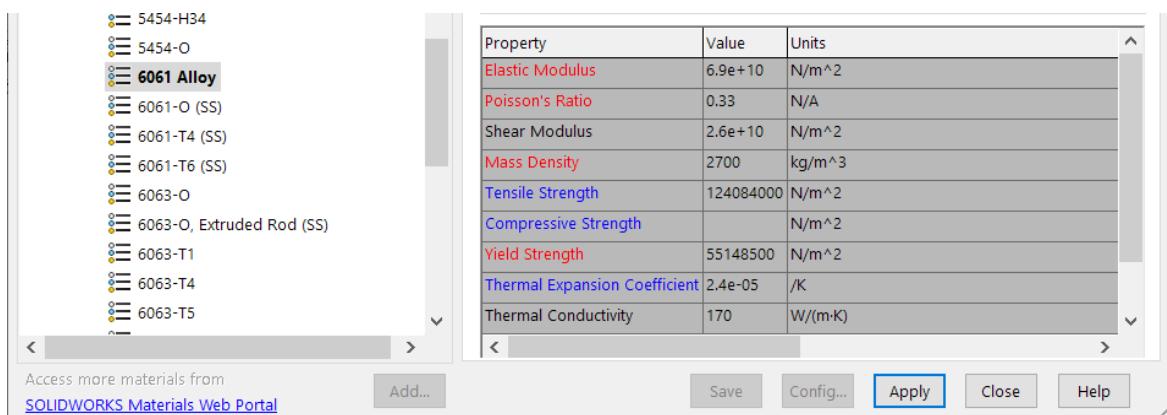
#### 4.1.6.2 Đặt lực và kết quả mô phỏng

##### Đặt lực



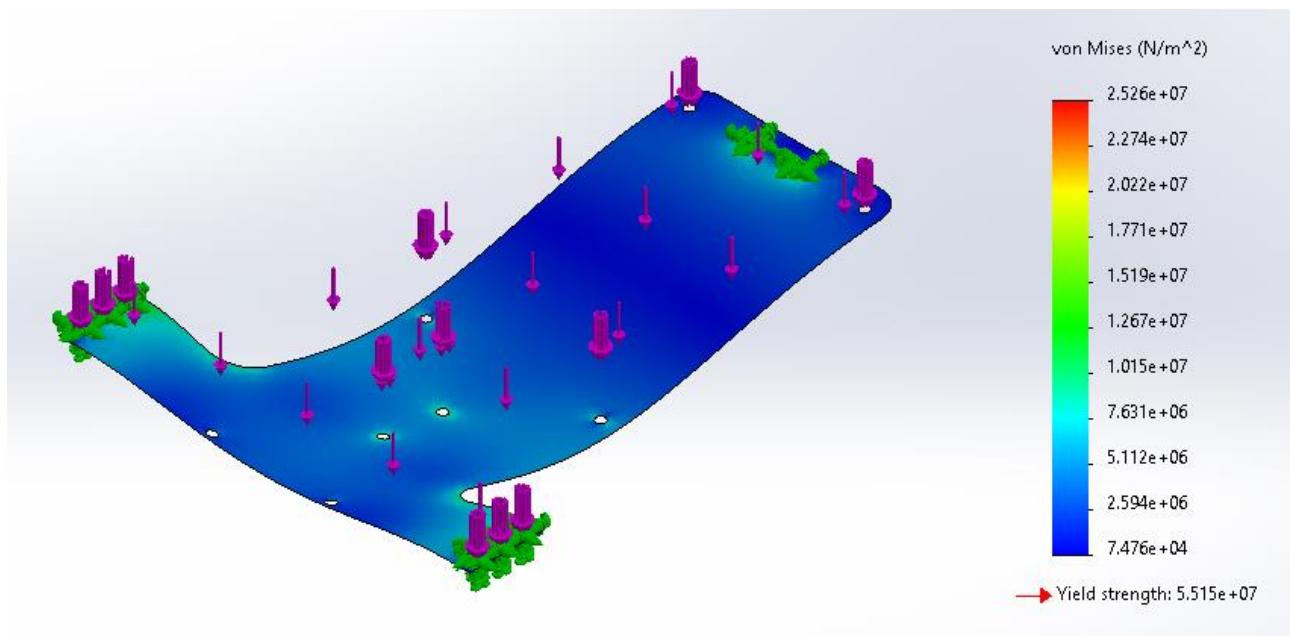
*Hình 4.8 Mô phỏng đặt lực trên tấm thân xe*

## Vật liệu



**Độ bền**

**Hình 4.9 Thông số vật liệu tâm thân xe**

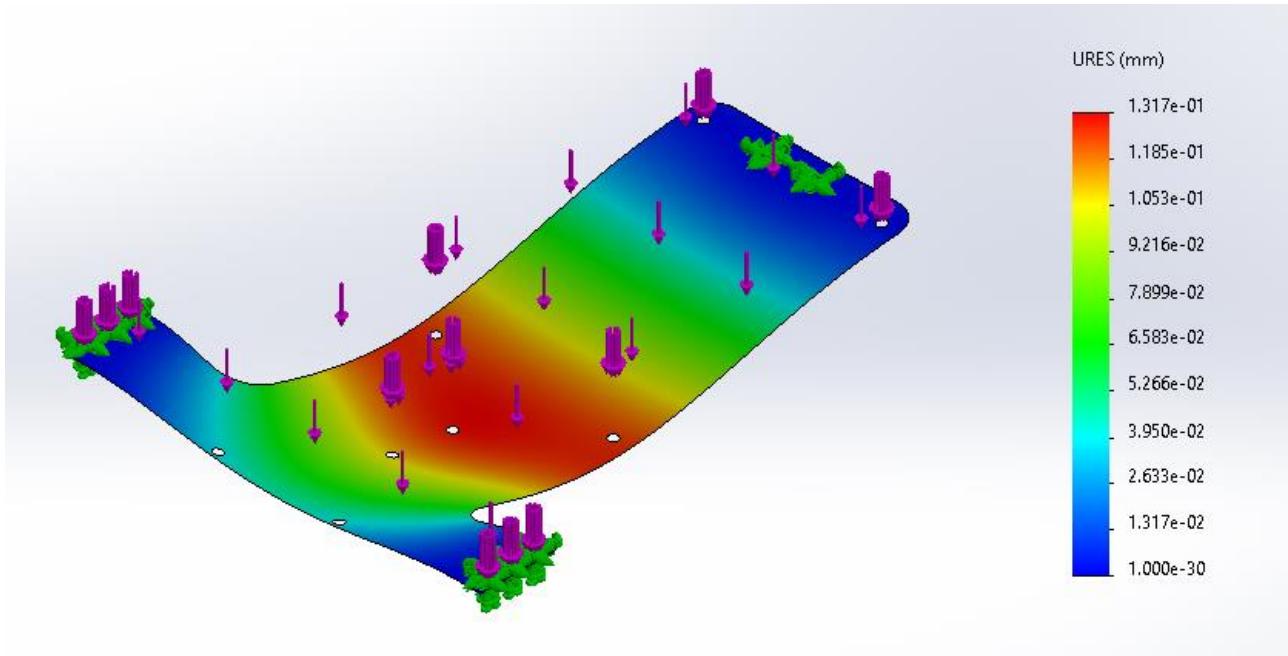


**Hình 4.10 Phân bố ứng suất trên tâm thân xe**

➔ **Kết luận:** Thỏa bền - ứng suất lớn nhất là  $2.526 \cdot 10^7$  bé hơn ứng suất cho

phép  $5.515 \cdot 10^7$ .

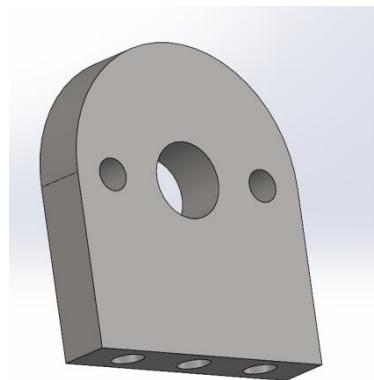
*Chuyển vị:*



**Hình 4.11 Phân tích chuyển vị trên tâm thân xe**

➔ **Kết luận:** Chuyển vị tương đối nhỏ ( $< 0,2\text{mm}$ ), vị trí gắn với đòn gá: chuyển vị sáp si:  $0,03\text{mm}$ .

#### 4.1.7 Thiết kế đòn gá động cơ – Tính toán dung sai



**Hình 4.12 Đòn gá động cơ**

Kích thước bao:  $28,5 \times 25 \times 5$ .

Vật liệu: Nhôm 6061.

**Kiểm tra: Dung sai độ đồng tâm**

##### 4.1.7.1 Tính chọn các mối lắp theo các chi tiết tiêu chuẩn

- Dung sai chốt định vị

$$\phi 3^{0,010}_{-0,005}$$



$\ell_1$	Catalog No. Type	D	L
0.4		1	6 8 10
0.6		1.5	6 8 10
1.0		2	6 8 10 15 20
		2.5	8 10 15 20 25 30
	MS	3	6 8 10 15 20 25 30 35 40
		4	10 15 20 25 30 35 40 45 50
		5	8 10 15 20 25 30 35 40 45 50
		6	15 20 25 30 35 40 45 50 55 60
		8	8 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60
		10	10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60
		12	20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 80
		13	30 40 50 60 70 80



**Hình 4.13 Datasheet chốt định vị trụ suốt** [25]

Dựa vào Bảng 2 trang 139 tài liệu [26] suy ra sáp sỉ mỗi lắp

$$\varnothing 3n6 = \varnothing 3^{0,010}_{0,004}$$

Do đó, dựa vào tài liệu [26], ta chọn mối lắp ưu tiên được sử dụng

H7/n6

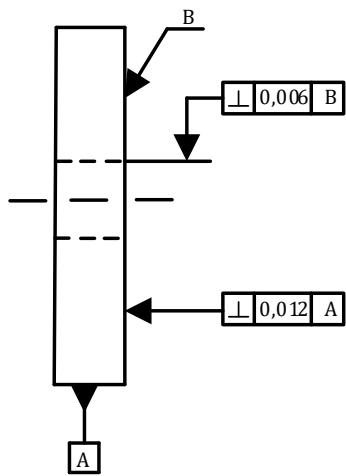
Theo tài liệu 27, mối lắp trung gian H7/n6 là mối lắp được ưu tiên sử dụng, phù hợp cho kết cấu (nếu dùng lắp lỏng thì chốt định vị dễ bong ra trong quá trình vận hành, nếu dùng lắp chặt, khi siết óc sẽ gây biến dạng thành chi tiết).

Kích thước lỗ là  $\varnothing 3$  suy ra dung sai chế tạo là

$$\varnothing 3^{0,010}_{0,000}$$

Cấp chính xác gia công đồ gá là cấp 7.

- Dung sai hình dáng của tâm gá:



#### **Hình 4.14 Chọn mặt chuẩn và dung sai các mặt phụ vuông góc**

Mặt đáy là mặt chuẩn, tra bảng P4.4 trang 220 tài liệu [27].

- + Dung sai độ vuông góc của mặt bích: với kích thước 28,5mm, ccx 7: 0,012mm
- + Dung sai độ vuông góc của mặt trụ tâm gá với mặt bích: kích thước 5mm, ccx 7: 0,006mm

#### **- Dung sai của của mối lắp giữa gờ của động cơ và đồ gá:**

Mối lắp giữa gờ định vị của động cơ và đồ gá: là mối lắp cố định nhưng động cơ cần tháo lắp được, và cần đảm bảo độ định tâm tốt cho trục quay. Động cơ là chi tiết được chế tạo sẵn do đó mối lắp sẽ được lắp theo hệ thống trực. Dựa vào tài liệu [26] ta chọn được mối lắp Ø7K7/h6, đây là mối lắp trung gian ưu tiên đặc trưng nhất và được sử dụng nhiều nhất, độ dôi không đủ lớn, đủ để định tâm chi tiết và ngăn ngừa các chấn động khi chi tiết quay.

Dựa vào Bảng 2 trang 139 tài liệu [26] ta có được dung sai lắp ghép

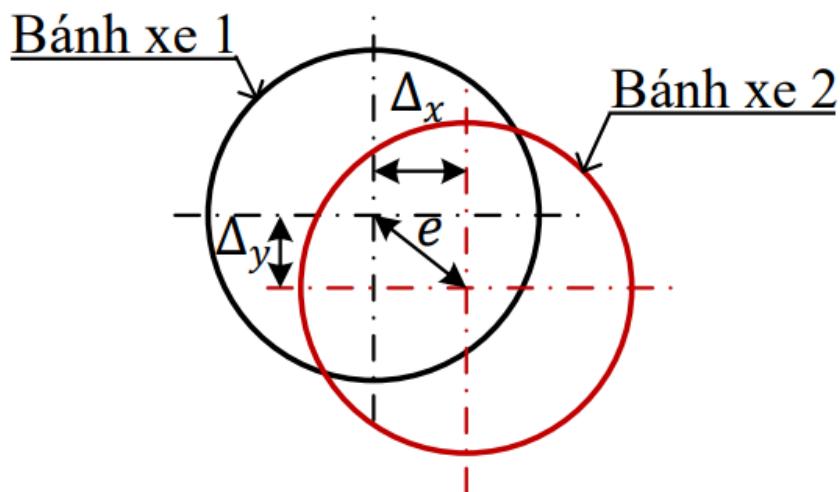
$$\begin{matrix} 0,005 \\ \varnothing 7 \\ -0,01 \end{matrix}$$

Cáp chính xác gia công, CCX7

#### **4.1.5.2 Giải bài toán dung sai, phân bố dung sai lên các chi tiết chế tạo**

Giả sử xem 2 trục động cơ là 1, chiều dài tổng 2 trục là: 128mm, dựa vào bảng P4.5 tài liệu [27], cáp chính xác là 9, suy ra dung sai độ đồng trục là  $T = 0.12\text{mm}$ .

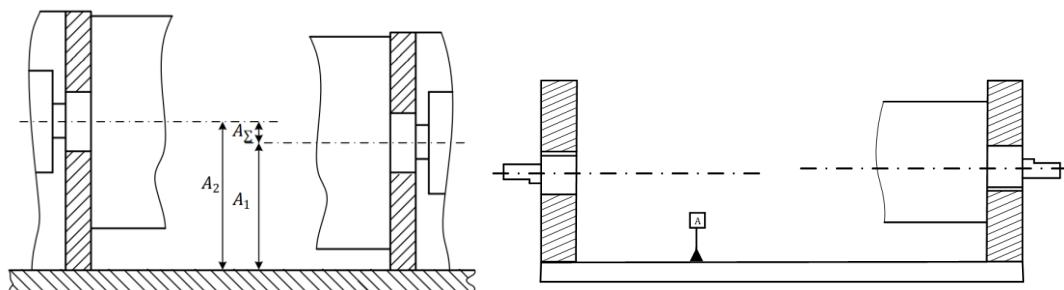
Suy ra dung sai theo 2 phương trên mặt cắt trục là  $dx = dy = \frac{0,05}{\sqrt{2}} = 0,085\text{mm}$



**Hình 4.15 Khoảng lêch tâm giữa 2 bánh động cơ**

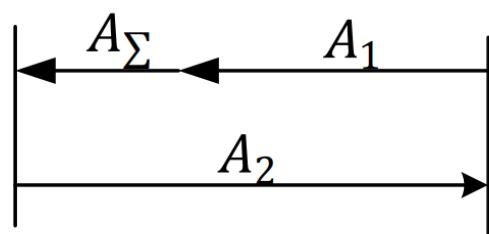
a) Xét theo phương  $\Delta y$ :

+ Xét trên mặt phẳng chứa  $\Delta y$  và song song với mặt cắt dọc trục động cơ, ta có chuỗi kích thước sau



**Hình 4.16 Các khâu hình thành chuỗi kích thước**

+ Từ hình trên ta có chuỗi kích thước sau:



**Hình 4.17 Chuỗi kích thước**

Trong đó  $A_2$  là khâu thành phần tăng

$A_1$  là khâu thành phần giảm

$A_\Sigma$  là khâu khép kín

Vì  $\Delta y \leq 0.085$  và 2 chi tiết đồ gá có thể đổi lần cho nhau nên dung sai khâu khép kín  $A_\Sigma$  từ  $-0.043$  đến  $0.043$ , từ đó ta cần tính toán lại dung sai cho các khâu thành phần  $A_1$  và  $A_2$ .

Ta có  $A_1 = 16\text{mm}$ ,  $A_2 = 16\text{mm}$   $A_\Sigma = 0^{+0.043}_{-0.043} \text{ mm}$

$$\Rightarrow \begin{cases} A_\Sigma = 0 \\ T_\Sigma = 0.085 \\ Em_\Sigma = 0 \end{cases}$$

Trong đó  $T_\Sigma$  là dung sai của khâu khép kín

$Em_\Sigma$  là sai lệch trung bình của khâu khép kín

+ Khâu tăng:  $A_2 = 16\text{mm}$

+ Khâu giảm:  $A_1 = 16\text{mm}$

$$\Rightarrow i_1 = i_2 = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001D = 0.45 \sqrt[3]{16} + 0.001 \cdot 16 = 1.15$$

Vậy hệ số CCX trung bình là

$$a_m = \frac{T_\Sigma}{\sum_{i=1}^{m+n} i_i} = \frac{0.085 \times 1000}{2 \times 1.15} = 36.96$$

Tra bảng 4.1 trang 24 tài liệu [27] ta được IT9, CCX gia công là 9.

Từ đó ta tra lại dung sai cho khâu  $A_2$ , giữ lại khâu  $A_1$  làm khâu bù dung sai.

Vì khâu  $A_2$  là khâu tăng, nên ta tra theo hệ thống lõi, vậy dung sai của khâu  $A_2$  sau khi tra lại là  $A_2 = 16H9 = 16_0^{+0.043} \text{ (mm)}$ .

Vì khâu  $A_1$  là khâu bù và là khâu giảm nên

$$T_1 = T_k = T_\Sigma - \sum_{i=1}^{m+n-1} T_i = 0.085 - 0.043 = 0.042 \text{ (mm)}$$

$$\text{Ta có } e_{mk} = \sum_{i=1}^m E_{mi} - \sum_{j=1}^{n-1} e_{mj} - E_{m\Sigma} = 0.0215 - 0 = 0.0215 \text{ (mm)}$$

Trong đó  $e_{mk}$  là sai lệch trung bình của khâu bù

$\sum_{i=1}^m E_{mi}$  là tổng sai lệch trung bình của khâu tăng

$\sum_{j=1}^{n-1} e_{mj}$  là tổng sai lệch trung bình của khâu giảm

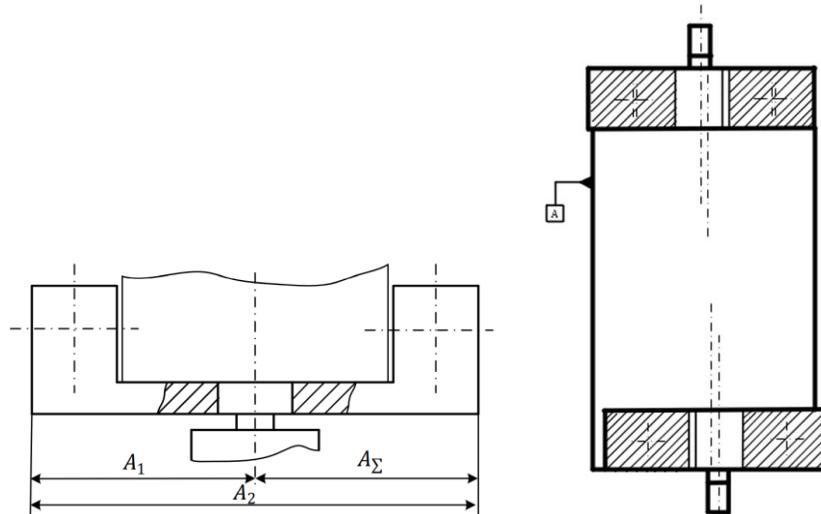
$E_{m\Sigma}$  là sai lệch trung bình của khâu khép kín

$$\Rightarrow \begin{cases} e_{sk} = e_{mk} + \frac{T_k}{2} = 0.0215 + \frac{0.042}{2} = 0.043 \\ e_{ik} = e_{mk} - \frac{T_k}{2} = 0.0215 - \frac{0.042}{2} = 0.0005 \end{cases}$$

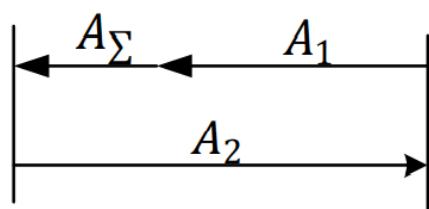
Vậy  $A_1 = 16^{+0.043}_{0.0005} \text{ (mm)}$ ,  $A_2 = 16_0^{+0.043} \text{ (mm)}$ , ta thấy miền dung sai của khâu  $A_2$  sai lệch rất nhỏ so với khâu  $A_1$ , xem như không đáng kể, vậy ta chọn miền dung sai của khâu  $A_1$  và khâu  $A_2$  là như nhau và đều là  $16_0^{+0.043} \text{ (mm)}$ .

**b) Xét theo phương  $\Delta x$ :**

Tương tự xét trên mặt phẳng chứa  $\Delta x$  và song song với mặt cắt dọc trực động cơ, ta có chuỗi kích thước sau



**Hình 4.18 Chuỗi kích thước theo phương  $\Delta x$**



**Hình 4.19 Chuỗi kích thước**

Trong đó  $A_2$  là khâu thành phần tăng

$A_1$  là khâu thành phần giảm

$A_\Sigma$  là khâu khép kín

Vì  $\Delta y \leq 0.085$  và 2 chi tiết đồ gá có thể đổi lẩn cho nhau nên dung sai khâu khép kín  $A_\Sigma$  từ  $-0.043$  đến  $0.043$ , từ đó ta cần tính toán lại dung sai cho các khâu thành phần  $A_1$  và  $A_2$ .

Ta có  $A_1 = 12.5\text{mm}$ ,  $A_2 = 12.5\text{mm}$   $A_\Sigma = 0^{+0.043}_{-0.043} \text{ mm}$

$$\Rightarrow \begin{cases} A_\Sigma = 0 \\ T_\Sigma = 0.085 \\ Em_\Sigma = 0 \end{cases}$$

Trong đó  $T_\Sigma$  là dung sai của khâu khép kín

$Em_\Sigma$  là sai lệch trung bình của khâu khép kín

+ Khâu tăng:  $A_2 = 12.5\text{mm}$

+ Khâu giảm:  $A_1 = 12.5\text{mm}$

$$\Rightarrow i_1 = i_2 = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001D = 0.45 \sqrt[3]{12.5} + 0.001 \cdot 12.5 = 1.06$$

Vậy hệ số CCX trung bình là

$$a_m = \frac{T_\Sigma}{\sum_{i=1}^{m+n} i_i} = \frac{0.085 \times 1000}{2 \times 1.06} = 40.09$$

Tra bảng 4.1 trang 24 tài liệu [27] ta được IT9, CCX gia công là 9.

Từ đó ta tra lại dung sai cho khâu  $A_2$ , giữ lại khâu  $A_1$  làm khâu bù dung sai.

Vì khâu  $A_2$  là khâu tăng, nên ta tra theo hệ thống lỗ, vậy dung sai của khâu  $A_2$  sau khi tra lại là  $A_2 = 12.5H9 = 12.5_0^{+0.043}$  (mm).

Vì khâu  $A_1$  là khâu bù và là khâu giảm nên

$$T_1 = T_k = T_\Sigma - \sum_{i=1}^{m+n-1} T_i = 0.085 - 0.043 = 0.042 \text{ (mm)}$$

$$\text{Ta có } e_{mk} = \sum_{i=1}^m E_{mi} - \sum_{j=1}^{n-1} e_{mj} - E_{m\Sigma} = 0.0215 - 0 = 0.0215 \text{ (mm)}$$

Trong đó  $e_{mk}$  là sai lệch trung bình của khâu bù

$\sum_{i=1}^m E_{mi}$  là tổng sai lệch trung bình của khâu tăng

$\sum_{j=1}^{n-1} e_{mj}$  là tổng sai lệch trung bình của khâu giảm

$E_{m\Sigma}$  là sai lệch trung bình của khâu khép kín

$$\Rightarrow \begin{cases} e_{sk} = e_{mk} + \frac{T_k}{2} = 0.0215 + \frac{0.042}{2} = 0.043 \\ e_{ik} = e_{mk} - \frac{T_k}{2} = 0.0215 - \frac{0.042}{2} = 0.0005 \end{cases}$$

Vậy  $A_1 = 12.5_0^{+0.043}$  (mm),  $A_2 = 12.5_0^{+0.043}$  (mm), ta thấy miền dung sai của khâu  $A_2$  sai lệch rất nhỏ so với khâu  $A_1$ , xem như không đáng kể, vậy ta chọn miền dung sai của khâu  $A_1$  và khâu  $A_2$  là như nhau và đều là  $12.5_0^{+0.043}$  (mm).

#### c) Độ trụ/Độ tròn:

- Độ trụ/độ tròn lỗ tâm gá gắn với động cơ có đường kính 7mm CCX7, tra bảng 9 trang 147 tài liệu [27] ta được: độ trụ/độ tròn 0,006mm.

- Độ trụ/độ tròn lỗ tâm gá gắn với chốt định vị có đường kính 3mm CCX7, tra bảng 9 trang 147 tài liệu [27] ta được: độ trụ/độ tròn là 0,005mm.

#### d) Độ phẳng:

- Độ phẳng bề mặt trên tâm thân xe tra bảng 8 trang 147 tài liệu [27] ta được độ phẳng là 0,016mm

- Độ phẳng của mặt đáy đòn gá động cơ là 0,006mm.

#### 4.1.8 Độ nhám bề mặt

Dựa vào bảng 5.6 trang 82 tài liệu [27], ta có được độ nhám bề mặt

1. Độ nhám bề mặt 2 bên của đòn gá CCX9, ta tra được độ nhám bề mặt Ra = 3.2μm, từ đó ta trang ngược lại bảng 5.5 trang 80 tài liệu [27] để tìm phương pháp gia công thích hợp, ta tra được phương pháp gia công là phay CNC bằng dao mặt trụ, phay tinh Ra = 3.2μm, các bề mặt còn lại Ra = 6.3μm

2. Với các lỗ bắt chốt định vị, gờ động cơ đều là CCX7 tương tự ta tra được phương pháp gia công là doa tinh với Ra = 1.6μm.

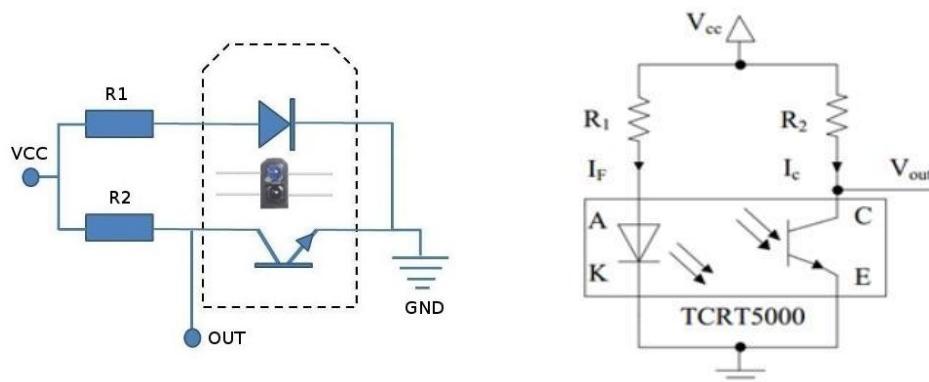
3. Bề mặt đáy của tấm gá lắp với thân xe có CCX7 ta tra được phương pháp gia công là phay CNC bằng dao mặt trụ, phay tinh Ra = 3.2μm.

4. Bề mặt trên của tấm thân xe lắp với đòn gá dùng làm mặt chuẩn có CCX7 ta tra được phương pháp gia công là phay CNC bằng dao mặt trụ, phay tinh Ra = 3.2μm, các bề mặt còn lại Ra = 6.3μm.

## 4.2 Thiết kế điện

### 4.2.1 Tính toán cảm biến

#### Tính toán điện trở cho cảm biến



**Hình 4.20 Sơ đồ mạch điện cảm biến quang TCRT5000**

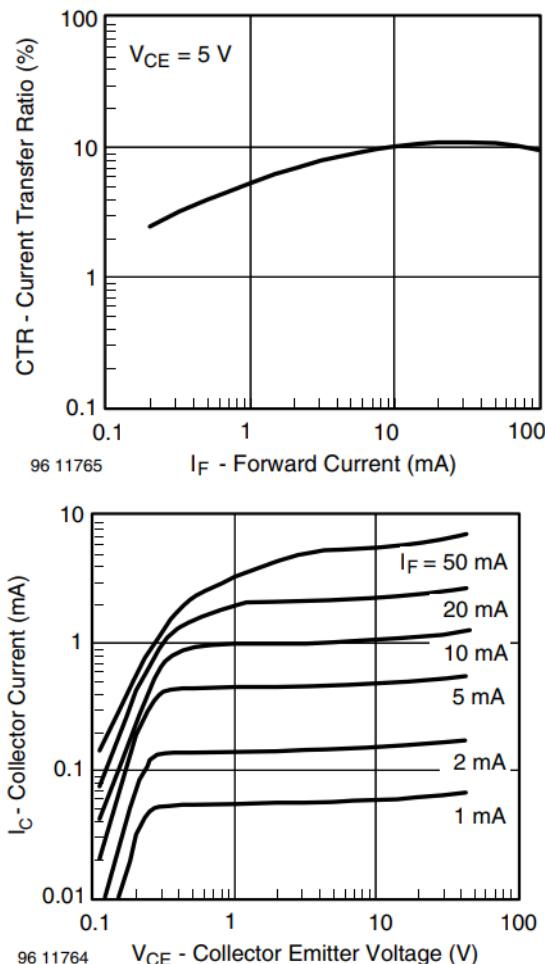
Với sơ đồ nguyên lý trên, ta kết hợp với các giá trị được cho trong datasheet của TCRT5000, ta chọn  $V_F=1.25$  V,  $I_F=20$  mA

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F} = \frac{5 - 1,25}{0,02} = 187.5 \Omega$$

Ta chọn  $R_F = 330\Omega$

Với việc chọn  $R_F$  ta tính lại  $I_F$

$$I_F = \frac{5 - 1.25}{330} = 11 \text{ mA}$$



**Hình 4.21 Đồ thị thể hiện mối tương quan giữa dòng điện vào led phát với dòng điện transistor (bên trái) và với điện áp 2 đầu transistor (bên phải)**

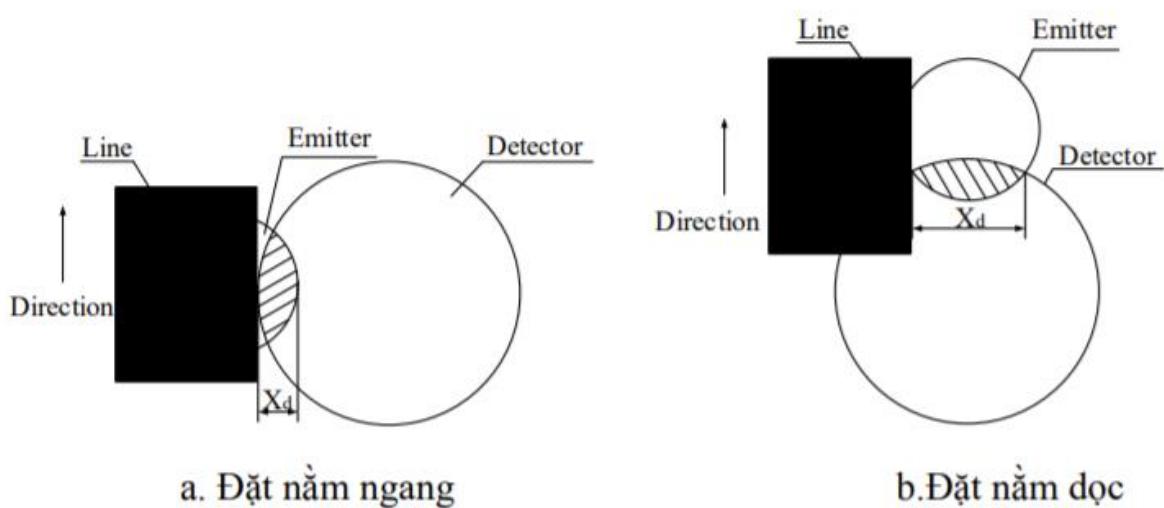
Dựa vào đồ thị thể hiện dòng và áp qua LED ta tìm được I<sub>C</sub> = 1.1mA và V<sub>CE</sub> = 0.6V

$$R_2 = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = \frac{5 - 0,6}{1.1 \cdot 10^{-3}} = 4000 \Omega$$

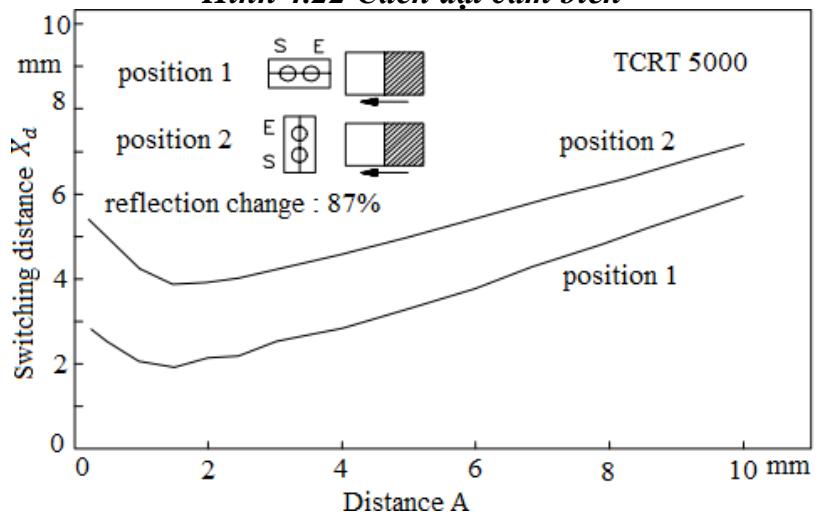
Ta chọn R<sub>2</sub> = 4700 Ω

#### **Chọn cách đặt cảm biến**

Có hai cách đặt cảm biến: đặt theo chiều dọc (position 2) và đặt theo chiều ngang (position 1).



**Hình 4.22** Cách đặt cảm biến



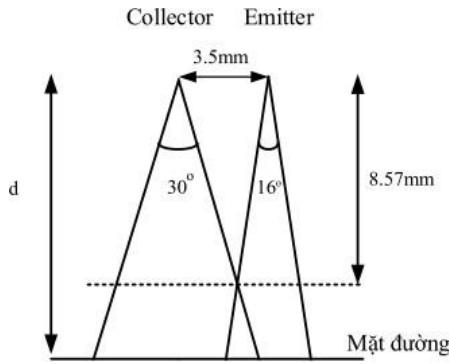
Hình 4.23 Ảnh hưởng của cách đặt cảm biến với Switching distance

Dựa theo đồ thị ta thấy rằng Switching distance  $X_d$  của position 1 (đặt theo chiều ngang) luôn nhỏ hơn Switching distance  $X_d$  của position 2 (đặt theo chiều dọc).

Khi đi từ nền trắng sang nền đen, thì khả năng nhận biết của cảm biến phụ thuộc vào giá trị  $X_d$ , giá trị  $X_d$  càng nhỏ thì khả năng nhận biết đường line của cảm biến càng tốt. Vì vậy chọn cách bố trí cảm biến theo chiều ngang.

#### **Tính chọn chiều cao cảm biến so với mặt sàn**

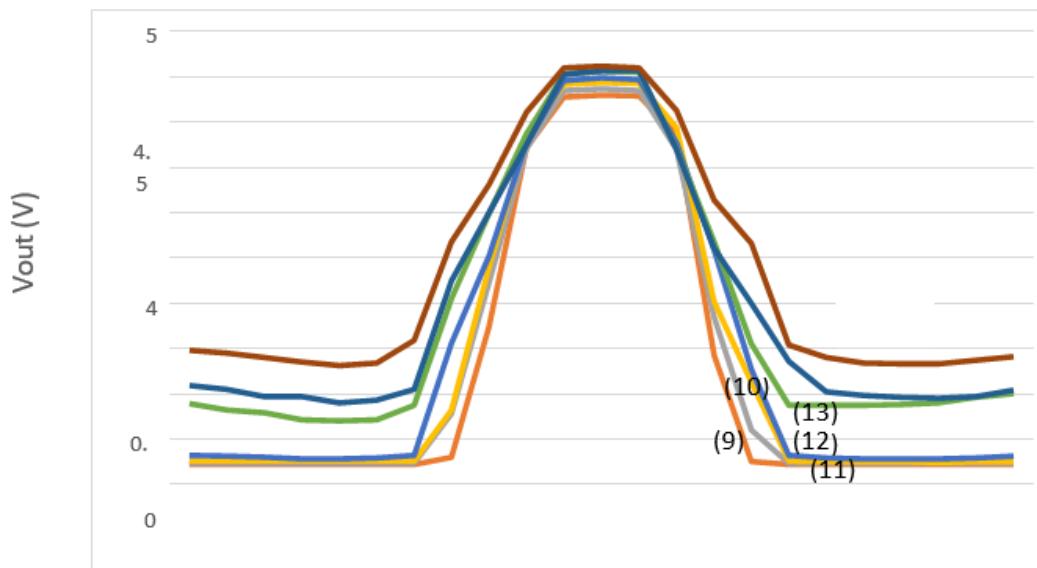
Để đảm bảo rằng phototransistor có thể nhận được tín hiệu từ led phát khi robot bám theo line, xuất hiện vùng giao nhau giữa vùng phát và thu



**Hình 4.24 Sơ đồ đo chiều cao cảm biến so với mặt sàn**

Trong trường hợp này, khoảng cách phù hợp là  $d > 8.57\text{mm}$ .

Do phạm vi làm việc của cảm biến TCRT5000 tối đa là 15mm nên thí nghiệm được thực hiện với các khoảng cách trong phạm vi từ 9mm đến 15mm



**Hình 4.25 Đồ thị kết quả thí nghiệm đo giá trị điện áp trả về từ cảm biến tại từng vị trí so với tâm line**

Kết quả :

Với khoảng cách lớn từ (12 - 15mm), độ chênh lệch điện áp tại vị trí tâm line và trên nền trắng bị thu hẹp lại so với khoảng cách thấp từ (9 - 11mm).

- Với khoảng cách thấp từ (9 - 11mm), điện áp đo từ vùng nền trắng có sự ổn định hơn (các giá trị gần nhau).
- Giá trị điện áp tại nền trắng ứng với khoảng cách 10mm ổn định hơn so với khoảng cách 9mm và 11mm.

➔ **Kết luận: Kết hợp với điều kiện ban đầu là  $d > 8.57\text{mm}$  vùng với kết quả như trên, suy ra ta chọn chiều cao từ tâm cảm biến đến mặt sàn là 10mm**

## Xác định khoảng cách giữa các cảm biến

Yêu cầu:

Có ít nhất 2 sensor nằm trong line và nhiều nhất là 3 sensor nằm trong line.

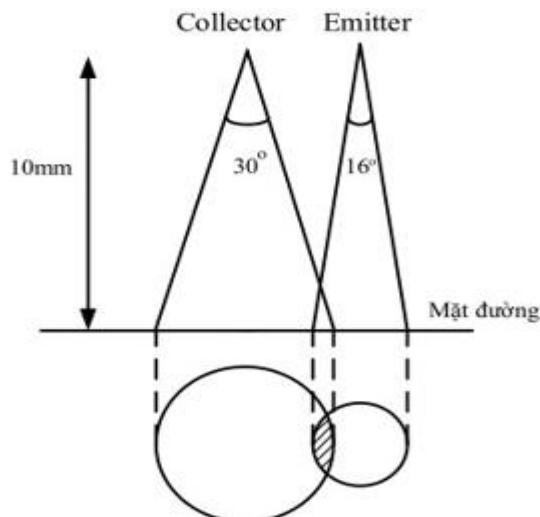
- Phạm vi hoạt động của 2 led không chồng lên nhau
- Tối thiểu sai số

Để cảm biến hoạt động tốt thì các led phải tách biệt nhau, các led không được giao thoa với nhau, vì sẽ gây nên sai số khi hoạt động.

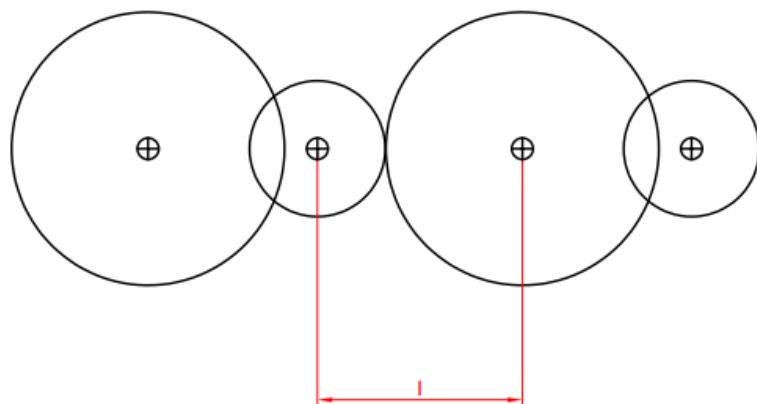
Do sử dụng giải thuật xấp xỉ trọng số, ta bố trí các cảm biến đều nhau

- Giả sử ta đặt hai cảm biến sát nhau sao cho vùng hoạt động của chúng vừa chạm nhau như sau:

Trong trường hợp cảm biến nằm ngang



Hình 4.26 Hình giao thoa giữa led phát và led thu của TCRT500



Hình 4.27 Sơ đồ tính toán khoảng cách giữa 2 cảm biến

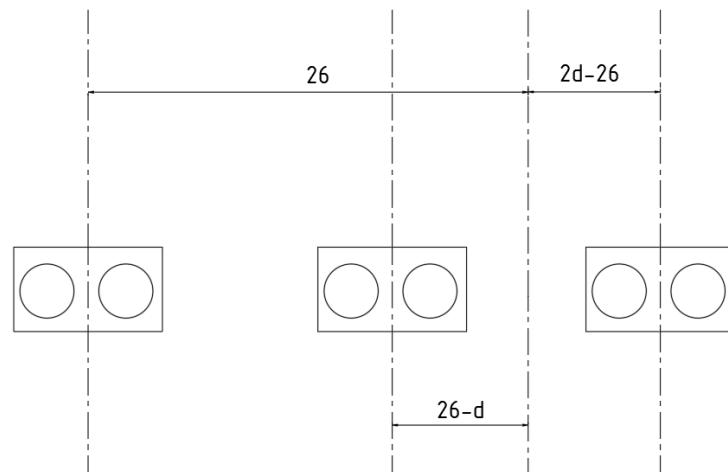
Khoảng cách giữa 2 led phát và thu liền kề phải đảm bảo:

$$l > 10(\tan(8^\circ) + \tan(15^\circ)) = 4.08 \text{ mm}$$

Khoảng cách giữa 2 led trong 1 cảm biến là 3.5 mm. Do đó khoảng cách tối thiểu giữa 2 cảm biến sẽ là:

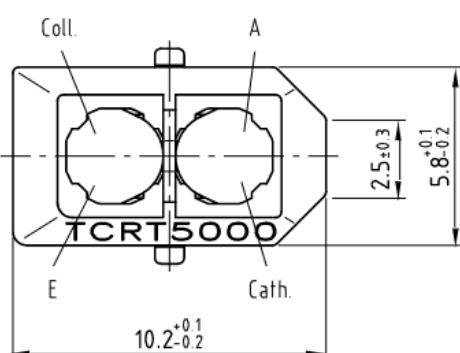
$$d = l + 3.5 = 4.08 + 3.5 = 7.58 \text{ mm}$$

Với điều kiện ít nhất 2 sensor nằm trong line và nhiều nhất 3 sensor nằm trong line 26 mm



**Hình 4.28 Điều kiện khoảng cách giữa các cảm biến**

Theo datasheet chiều dài cụm sensor là 10.2mm



**Hình 4.29 Kích thước sensor**

Với bề dày line là 26mm, khi di chuyển cảm biến qua trái 1 đoạn 26-d (mm) thì luôn có 2 cảm biến phát hiện line với giá trị analog (bên trái và chính giữa) như nhau nên không xác định được. Nếu như tiếp tục di chuyển trong vùng 2d-26 chỉ có 1 sensor phát hiện line nên cũng không được. Chọn 26-d = 2d-26 nên d = 17,33 (mm)

Vì ít nhất 2 sensor nằm trong đường line nên  $10.2 \text{ mm} < d < 26 \text{ mm}$ . Để đảm

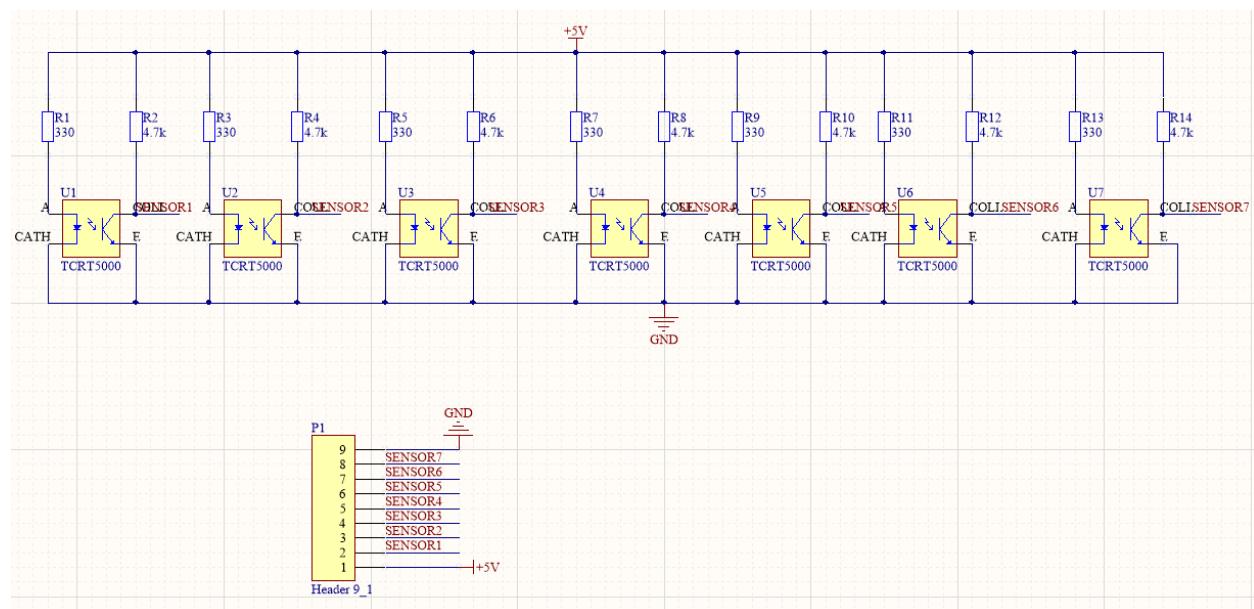
bảo nằm hoàn toàn trong line và đủ xa để không bị chồng vùng làm việc, ta chọn khoảng cách cảm biến xấp xỉ là 17 mm.

### **Chọn số cảm biến:**

Ta nhận thấy khi sử dụng giải thuật xấp xỉ bậc 2 thì cần ít 3 cặp cảm biến để nhận dạng được tâm đường line. Vì thế giả sử khi tâm đường line trùng với tâm nội suy từ cảm biến thì cần 3 cặp cảm biến, đồng thời khi xe lệch về bên trái/phải ta cần thêm 1 cặp cảm biến ở mỗi bên để nhận dạng được phía lệch của xe. Từ lập luận trên ta nhận thấy với việc sử dụng 5 cảm biến ta hoàn toàn có thể xác định được phía lệch của xe. Nhưng khi gấp các khúc cua thì việc sử dụng 5 cặp cảm biến sẽ dẫn đến việc ôm cua của xe trở nên khó khăn hơn do xe không nhận được tín hiệu cần thiết. Từ đó, ta tăng thêm mỗi bên của mạch cảm biến một cặp LED nên mạch cảm biến của ta sẽ sử dụng 7 cặp LED.

### **Mạch điện:**

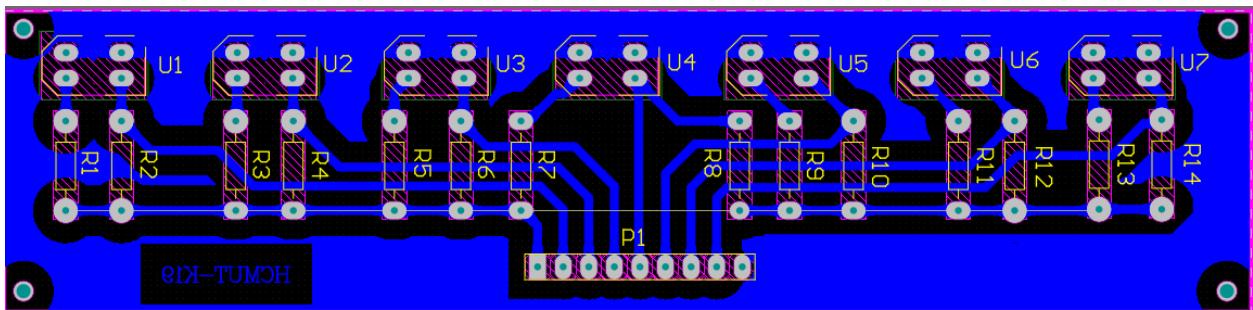
- Thiết kế mạch nguyên lý bằng phần mềm Altium ta được sơ đồ mạch cảm biến sau:



**Hình 4.30 Schematic mạch cảm biến**

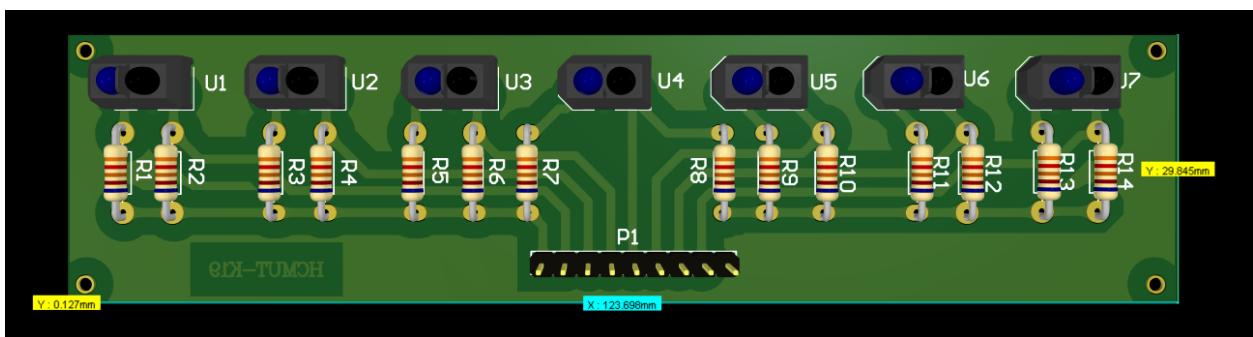
### **Mạch PCB**

- Ta tiến hành đi dây cho mạch cảm biến:



Hình 4.31 Mạch PCB cảm biến

Mô hình 3D:



Hình 4.32 Mô hình 3D cảm biến

+ Kích thước bao mạch cảm biến theo 2 phương là: 123.7mm x 29.8mm

#### Calip cảm biến và tính sai số:

##### a. Tìm phương trình calip:

Tiến hành calib cảm biến bằng cách đo giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của từng cảm biến ta có giá trị sau:

Với phương trình calib sau:

$$y_{j0} = y_{\min} + \frac{y_{\max} - y_{\min}}{x_{\max,j} - x_{\min,j}} (x_{j,i} - x_{\min,j})$$

Trong đó:

- $x_{\max,i}$  và  $x_{\min,i}$ : Giá trị analog lớn nhất và nhỏ nhất của cảm biến thứ i khi cảm biến nằm hoàn toàn trên nền đen và nền trắng.
- $y_{\max}$  và  $y_{\min}$ : Giá trị analog lớn nhất và nhỏ nhất mà ta mong muốn cho tất cả cảm biến.
- $x_{j,i}$ : Giá trị analog đọc về từ cảm biến thứ i.
- $y_{j0}$ : Giá trị analog đọc về sau khi đã calib của cảm biến thứ i.

Bảng 14 Giá trị cảm biến sau khi calip

Cảm biến	GTLN	GTNN	Phương trình sau khi calib
----------	------	------	----------------------------

1	773	39	$y_{jo} = 30 + 1,1853(x_{ji} - 39)$
2	780	37	$y_{jo} = 30 + 1,1709(x_{ji} - 37)$
3	872	41	$y_{jo} = 30 + 1,0469(x_{ji} - 41)$
4	818	37	$y_{jo} = 30 + 1,1140x_{ji} - 37$
5	816	38	$y_{jo} = 30 + 1,1183(x_{ji} - 38)$
6	880	41	$y_{jo} = 30 + 1,0369(x_{ji} - 41)$
7	870	41	$y_{jo} = 30 + 1,0495(x_{ji} - 41)$

Chọn  $y_{max} = 900$  và  $y_{min} = 30$

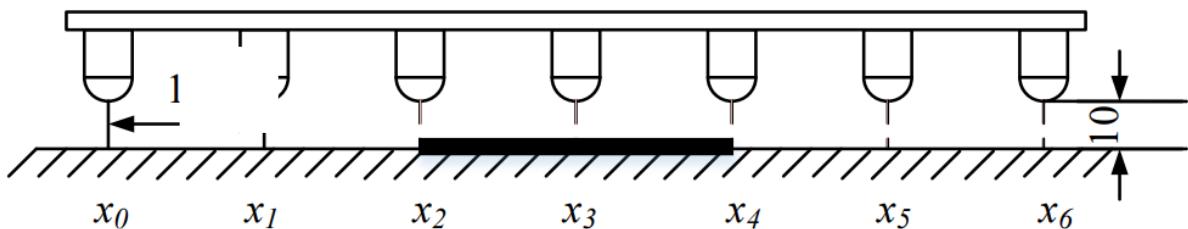
### b. Tìm vị trí tâm đường line dựa vào giải thuật xấp xỉ:

- Bố trí thí nghiệm:

+ Chiều cao  $h = 10\text{mm}$

+ Khoảng cách giữa 2 cảm biến là  $17\text{mm}$

+ Bề rộng line  $26\text{mm}$



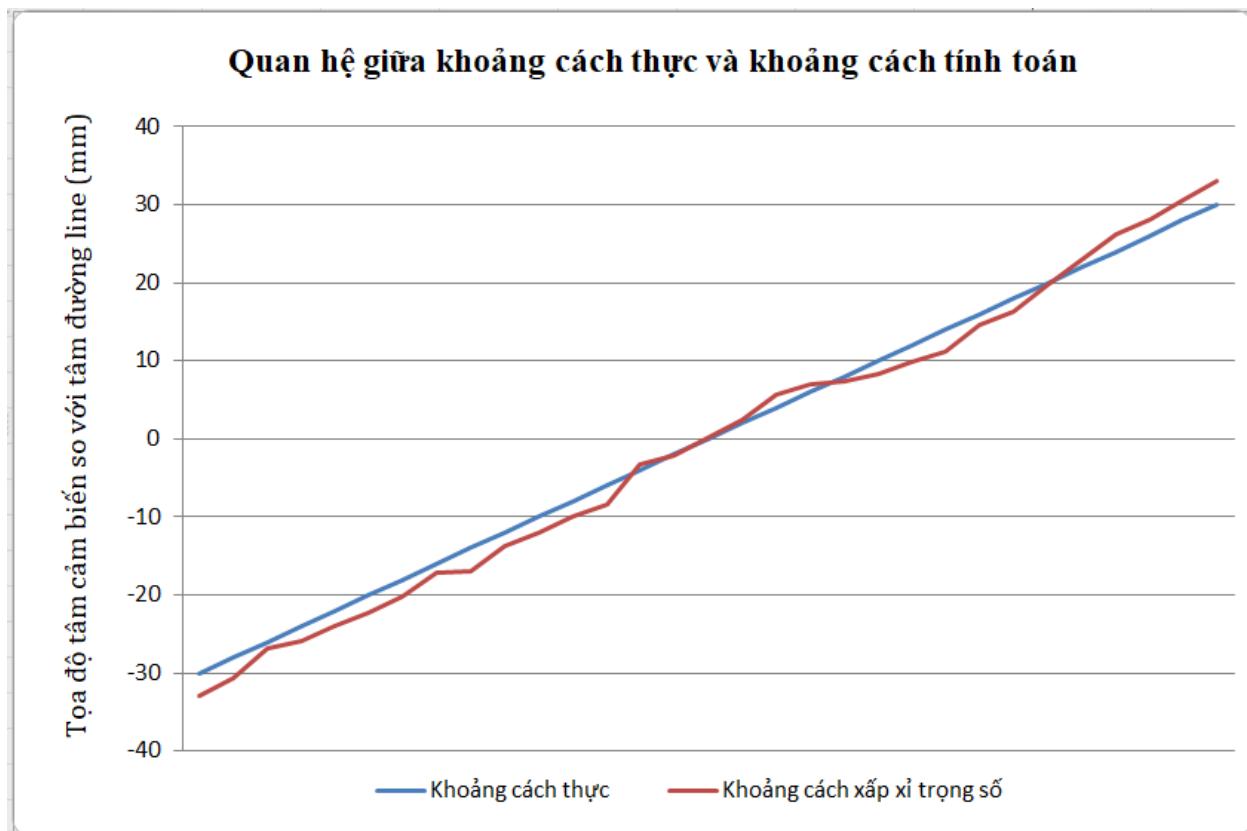
**Hình 4.33 Sơ đồ test cảm biến**

Sử dụng 7 cảm biến để dò line. Giả sử tọa độ của 7 cảm biến lần lượt là  $x_0, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$  và các giá trị analog trả về lần lượt là  $y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6$ . Vậy tọa độ vị trí tâm đường line so với cảm biến chính giữa được tính theo công thức sau:

$$x = L_{CB} \frac{\sum_{i=0}^6 x_i y_i}{\sum_{i=0}^6 y_i}$$

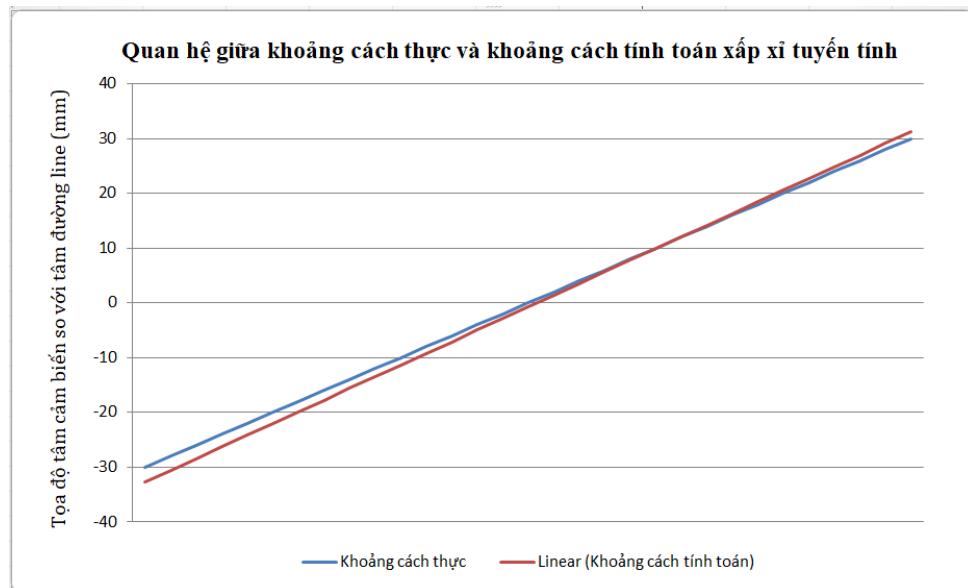
Tiến hành thí nghiệm tại độ cao  $h = 10$  (mm) so với mặt sa bàn, độ rộng đường line là  $26$  (mm) và 2 phía giới hạn của đường tâm line là từ  $-30$  (mm) đến  $30$  (mm). Qua giá trị đọc được từ 7 cảm biến, áp dụng công thức trung bình trọng số để tính toán khoảng cách của cảm biến chính giữa so với tâm đường line.

Ta tiến hành thực nghiệm và có kết quả sau :



**Hình 4.34 Đồ thị giữa khoảng cách thực và khoảng cách xấp xỉ trọng số**

Sau đó ta tiến hành tuyến tính hóa đồ thị khoảng cách theo xấp xỉ trọng số, thu được kết quả sau:



**Hình 4.35 Đồ thị giữa khoảng cách thực và khoảng cách xấp xỉ sau khi tuyến tính**

Từ đồ thị ta suy ra được phương trình xấp xỉ hàm bậc nhất giữa vị trí thực của tâm cảm biến và giá trị thu được xấp xỉ trung bình trọng số là:

$$y = 1.065x - 0.7432$$

Trong đó:

- $x$  là giá trị khoảng cách thực so với tâm đường line.
- $y$  là giá trị trung bình trọng số .

Kết luận: Sai số lớn nhất  $e_{max} = 2.97 (mm)$ .

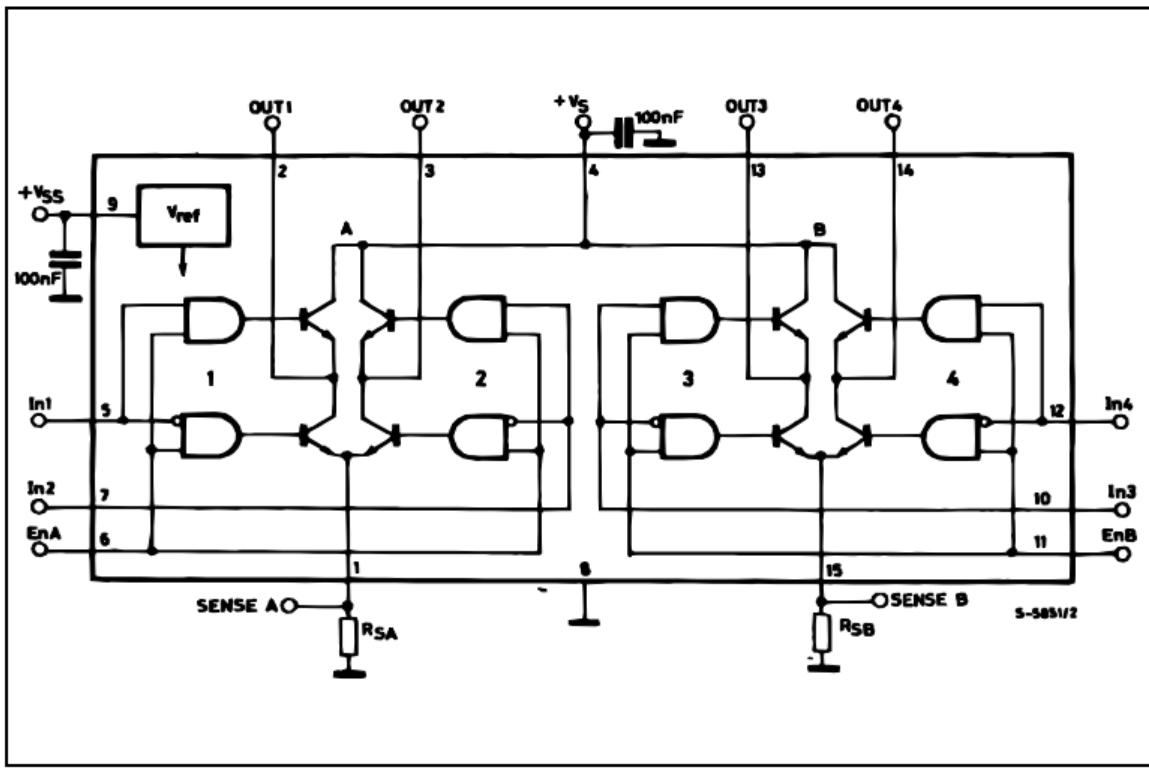
#### 4.2.2 Lựa chọn và thiết kế mạch driver

- Nhóm sử dụng động cơ DC servo GA25 có thông số điện áp hoạt động là 12V, công suất 4W, dòng lớn nhất motor chịu được là 0,9A có tốc độ 280rpm nên lựa chọn tham khảo motor driver L298N [28] có thông số như sau:

*Bảng 15 Thông số driver L298N*

Driver	L298N
Điện áp cần cấp cho động cơ	+5V -> +12V
Dòng tối đa mỗi cầu H	2A
Điện áp logic	+5 -> +7V
Dòng điện của tín hiệu điều khiển	0 -> 36mA (khi nhiệt độ là 75°C)
Công suất hao phí	20W

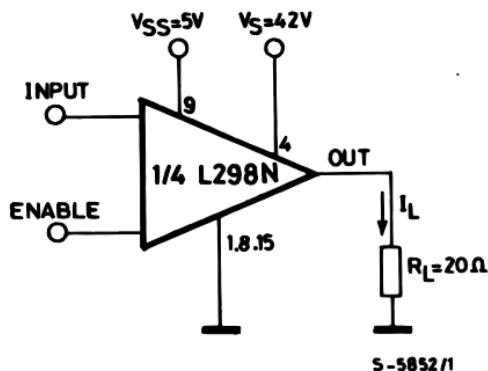
- Để thiết kế mạch driver, nhóm chọn IC L298N có tích hợp mạch nguyên khối cầu H có các tranjitor NPN và opamp để so sánh tín hiệu đảo chiều động cơ khi cần thiết.



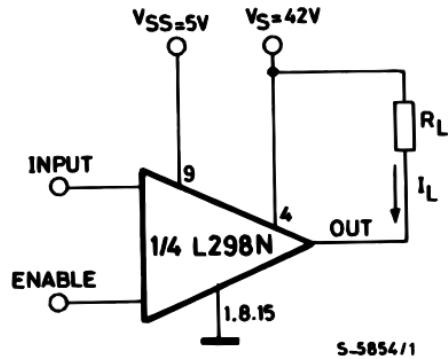
**Hình 4.36 Block diagram của IC L298N**

Trong khối block diagram có 2 mạch cầu H. Xét nửa bên trái ta có chân 2,3 là 2 đầu động cơ, chân +Vss là nguồn nuôi các opamp, chân In1 In2 là hai chân xác định chiều của động cơ, chân EnA là chân quy định cầu A có hoạt động hay không. Cả 3 chân In1 In2 và EnA là 3 chân nhận tín hiệu từ vi điều khiển, nếu EnA lên mức ‘1’ thì cầu A hoạt động, chân In1 lên ‘1’ và chân In2 lên ‘0’ thì cầu H quay thuận, khi In2 lên ‘1’ và In1 lên ‘0’ thì động cơ quay chiều nghịch. Để điều chỉnh tốc độ động cơ cần cấp xung PWM vào chân EnA.

Mỗi khối block so sánh là các con opamp sau:

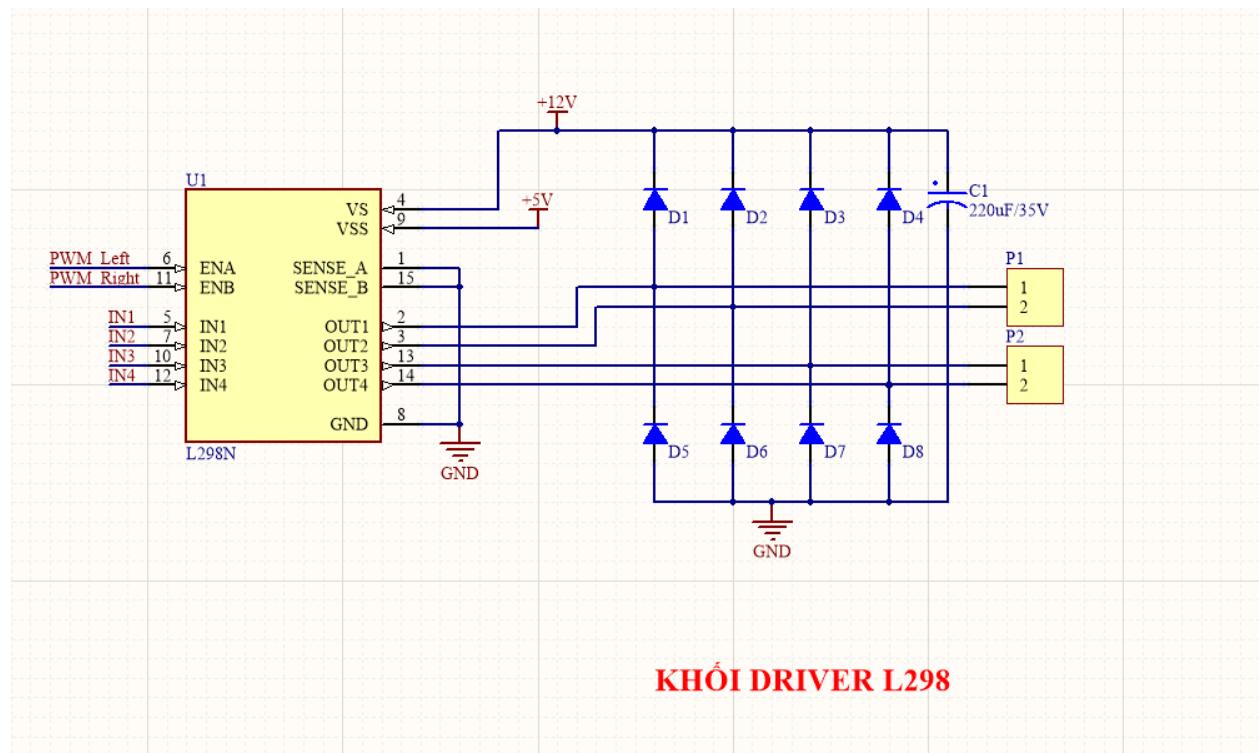


Opamp so sánh, để chuyển trạng thái từ ‘Off’ lên ‘On’ thì chân ENA và INPUT phải có giá trị ‘HIGH’.

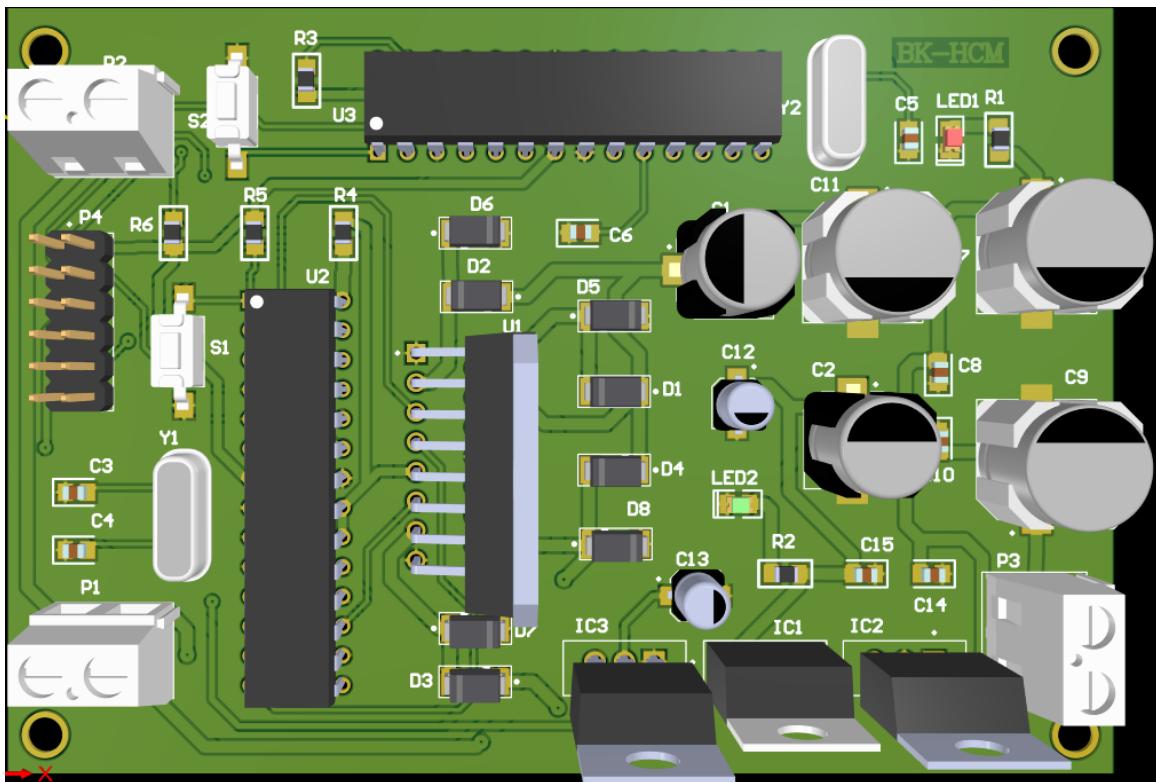


Ngược lại với opamp trên, để chuyển trạng thái từ ‘Off’ lên ‘On’ thì chân ENA phải ‘HIGH’ và chân INPUT phải ‘LOW’.

- Thiết kế mạch driver cần các linh kiện: IC L298N (hay chính là IC multiWatt 15), tụ điện, các diot chống ngược dòng và các điện trở. Tụ điện để lọc nhiễu do dòng điện qua động cơ ‘on’ ‘off’ liên tục khi sử dụng PWM, thứ 2 là chống dòng ngược.



**Hình 4.37 Schematic khối L298N**

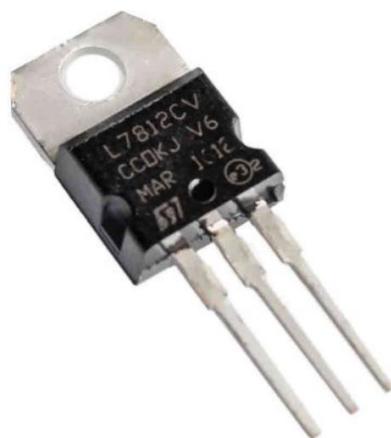


*Hình 4.38 Mô hình 3D driver*

#### 4.2.3 Lựa chọn nguồn và mạch hạ áp

##### Mạch hạ áp

+ Mạch hạ áp 18V thành 12V: Sử dụng IC LM7812CV của hãng STMicroelectronics

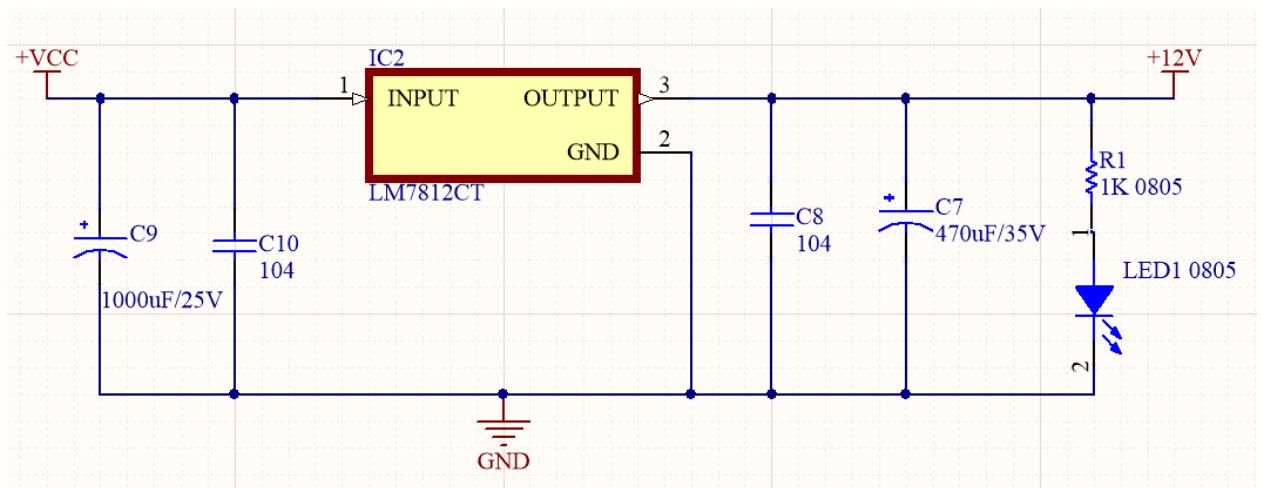


*Hình 4.39 IC Ổn áp LM7812CV  
Bảng 16 Datasheet của IC Ổn áp LM7812CV*

Điện áp đầu vào	< 35V (trong trường hợp này là 18V)
Điện áp đầu ra	12V

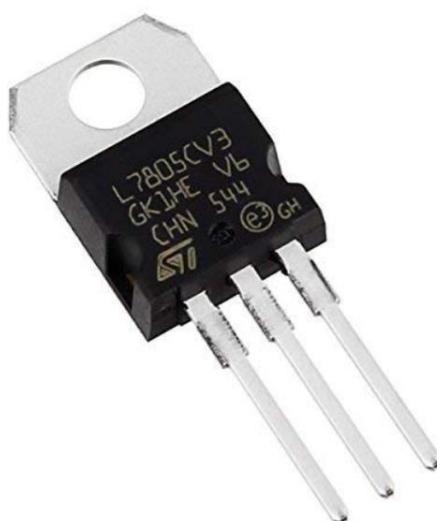
Dòng điện output tối đa	1.5A
Nhiệt độ hoạt động	0 - 150°C

- Schematic mạch ồn áp từ 18V => 12V



**Hình 4.40 Sơ đồ mạch hạ áp 12V**

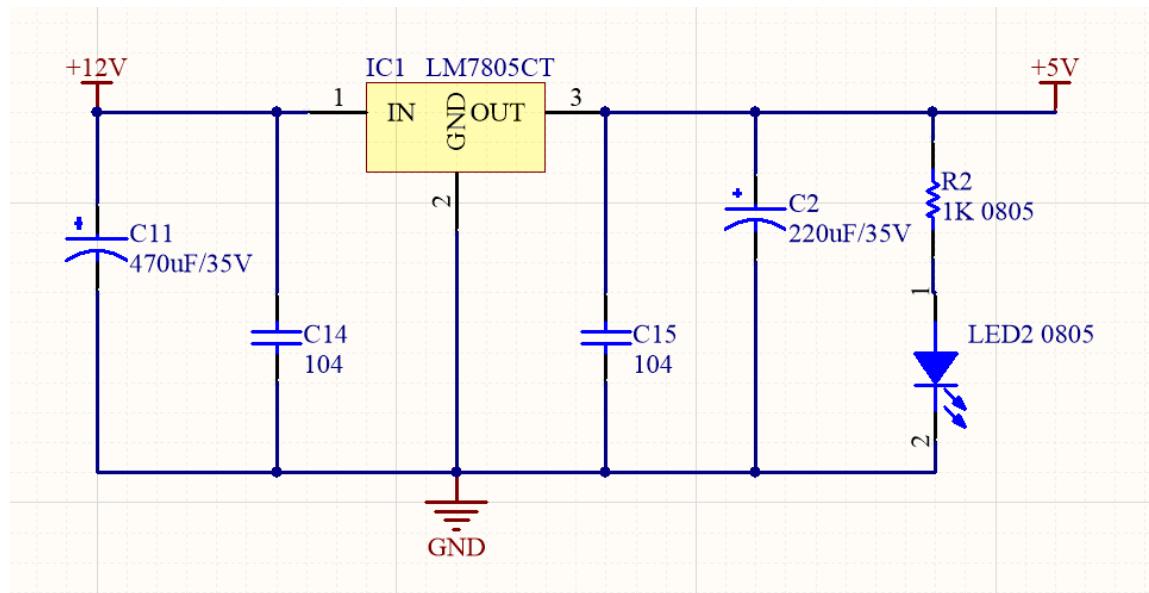
+ Với mạch hạ áp 9V thành 5V cấp nguồn nuôi cho vi điều khiển sử dụng IC ồn áp LM7805 của hãng STMicroelectronics



**Bảng 17 Datasheet của IC ồn áp LM7805CV**

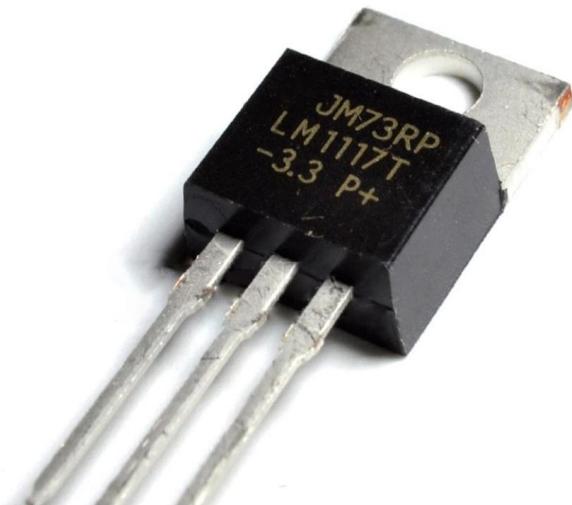
Điện áp đầu vào	< 35V (trong trường hợp này là 12V)
Điện áp đầu ra	5V
Dòng điện output tối đa	1A
Nhiệt độ hoạt động	0 - 150°C

- Schematic mạch ổn áp từ 12V  $\Rightarrow$  5V



**Hình 4.41 Sơ đồ mạch hạ áp 5V**

+ Với mạch hạ áp 5V thành 3,3V cấp nguồn nuôi cho encoder sử dụng IC ổn áp LM 1117T-3V3

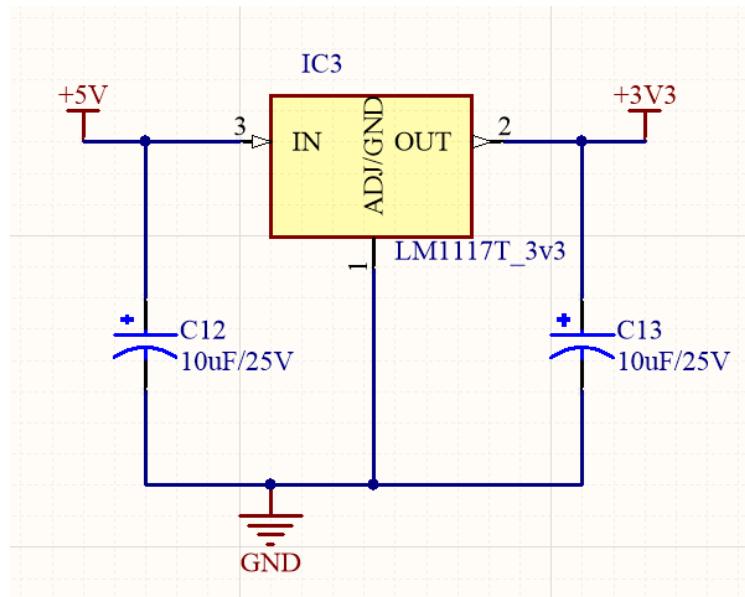


**Hình 4.42 IC ổn áp LM1117T-3V3**

**Bảng 18 Datasheet của IC ổn áp LM1117T-3V3**

Điện áp đầu vào	< 15V (trong trường hợp này là 5V)
Điện áp đầu ra	3V3
Dòng điện output tối đa	800mA
Nhiệt độ hoạt động	0 - 125°C

- Schematic mạch ổn áp từ 5V  $\Rightarrow$  3V3



**Hình 4.43 Sơ đồ mạch hạ áp 3,3V**

**Chọn Pin:**

- Yêu cầu: Khối driver sử dụng nguồn 12V, micro controller và các cảm biến ta sử dụng nguồn 5V, encoder dùng nguồn 3,3V, mạch nano sử dụng điện áp 9V
- Theo datasheet, IC LM7812CV cần điện áp tối thiểu là 14V để đủ khả năng tạo ra điện áp là 12V, Do đó dùng 2 pin 9V với tổng điện áp là 18V cấp nguồn cho mạch driver và 1 pin 9V cấp nguồn cho mạch nano

- Tính toán pin cho nguồn động lực

Thiết bị	Số lượng	Dòng điện hoạt động max	Điện áp hoạt động
DC GA25	2	300mA	12V

- Tính toán pin cho nguồn điều khiển

Thiết bị	Số lượng	Dòng điện	Điện áp hoạt động
Atmega328	2	20mA	5V
L298N	1	40mA	12V
Encoder	2	20mA	3V3
TCRT5000	7	11mA	5V
Arduino Nano	1	40mA	5V
HC-SR04	1	40mA	5V

**- Mục tiêu chọn pin:**

+ Chạy trong 2h liên tục khi sạc đầy (mong muốn)

+ Có thể sạc khi hết pin

+ Pin có sẵn trên thị trường.

- Với hệ số an toàn  $k = 1.3$ , ta tính được dung lượng pin cho nguồn động lực là:  $300\text{mA} \times 1.3 \times 2\text{h} = 780\text{mAh}$ , ta chọn 2 pin BESTON 9V 1000mAh để cấp nguồn cho mạch động lực.



**Hình 4.44 Pin 9V BESTON 1000mAh**

- Dung lượng pin cho nguồn điều khiển là:  $277\text{mA} \times 1.3 \times 2\text{h} = 720.2\text{mAh}$ , vậy ta chọn 1 viên pin 9V BESTON 1000mAh tương tự để cấp nguồn cho mạch điều khiển.

#### **4.2.4 Thiết kế bộ điều khiển trung tâm**

##### **4.2.4.1 Yêu cầu vi điều khiển**

###### **Lựa chọn vi điều khiển**

Theo như sơ đồ khói của hệ thống điều khiển cần 3 vi điều khiển bao gồm 1 slave điều khiển động cơ, 1 slave nhận tín hiệu từ cảm biến và xử lý và 1 master.

Yêu cầu của Master là:

- Có 2 cổng để giao tiếp với 2 Slave

Yêu cầu của Slave điều khiển động cơ là:

- Có 2 chân ngắt ngoài để đọc xung encoder trả về từ động cơ
- Có 1 cổng giao tiếp với Master
- Có 2 chân PWM để điều khiển động cơ

Yêu cầu của Slave cảm biến là:

- Đủ 7 đầu vào Analog để đọc tín hiệu từ 7 cảm biến
- Có 1 cổng giao tiếp giữa master và slave.

Từ những yêu cầu trên nhóm sử dụng vi điều khiển Atmega328 với các thông số:

- 8 kênh ADC 10 bit
- Giao tiếp: 1 UART, 1 I2C, 2 SPI
- 6 kênh PWM trong đó có 2 kênh tần số cao (62500Hz)
- 2 kênh ngắt ngoài và 3 timer

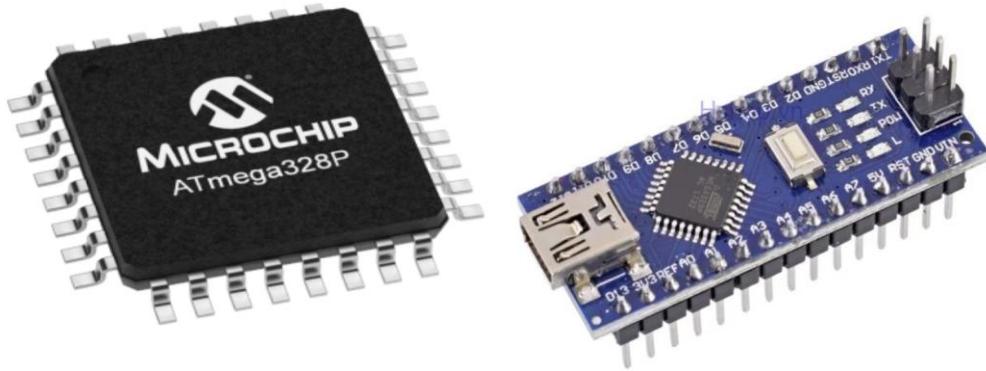
**➔ Kết luận:**

- Chọn vi điều khiển ATmega328P DIP cho Master và Slave động cơ



**Hình 4.45 Vi điều khiển Atmega 328P DIP**

- Vì Atmega328P DIP chỉ có 6 đầu vào Analog không đủ để đọc tín hiệu từ cảm biến, nhằm để đồng bộ về vi điều khiển nên ta sẽ chọn ATmega328 TQFP có 8 đầu vào Analog.

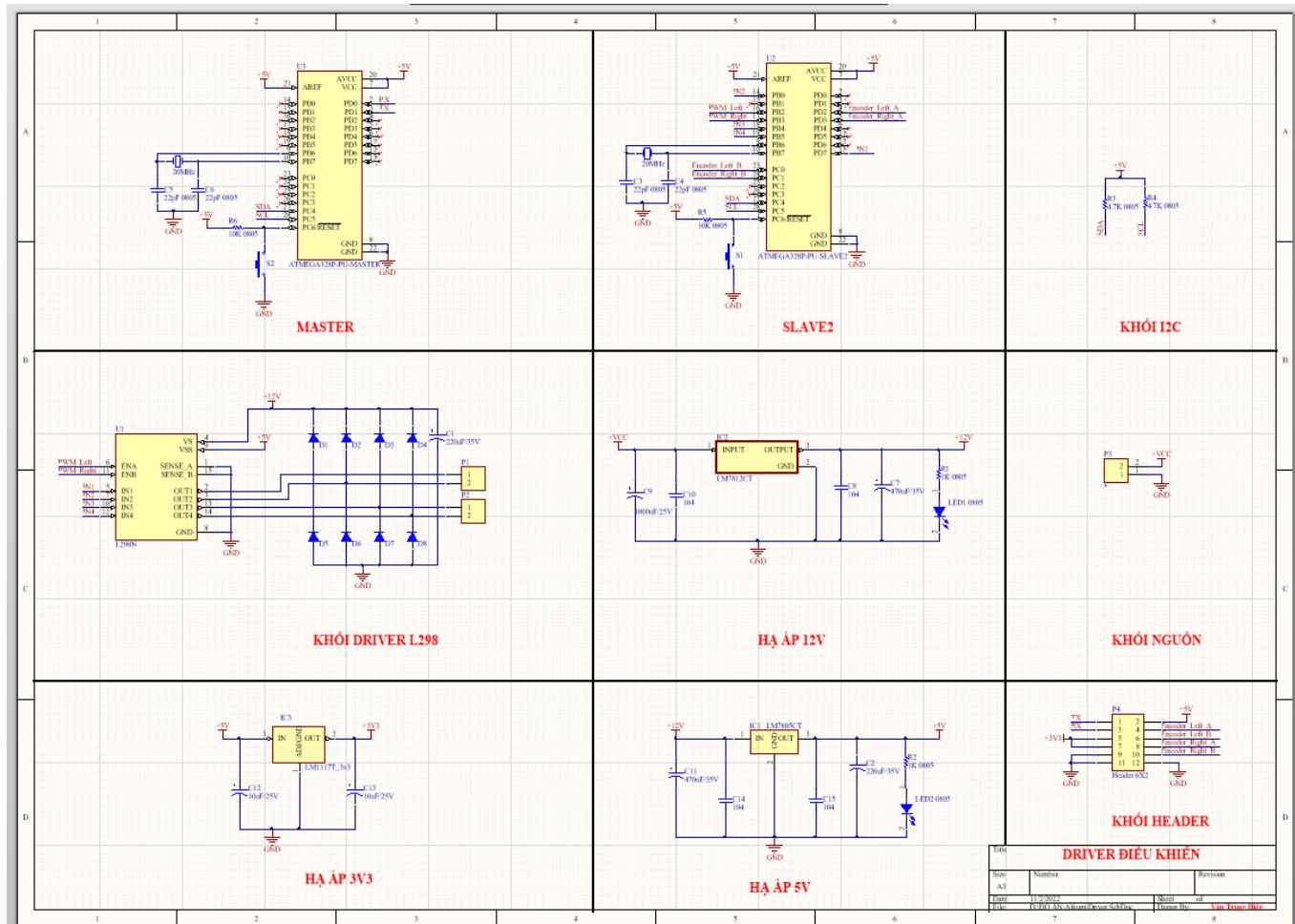


**Hình 4.46 Arduino Nano tích hợp ATmega328 TQFP**

#### 4.2.4.2 Chuẩn giao tiếp

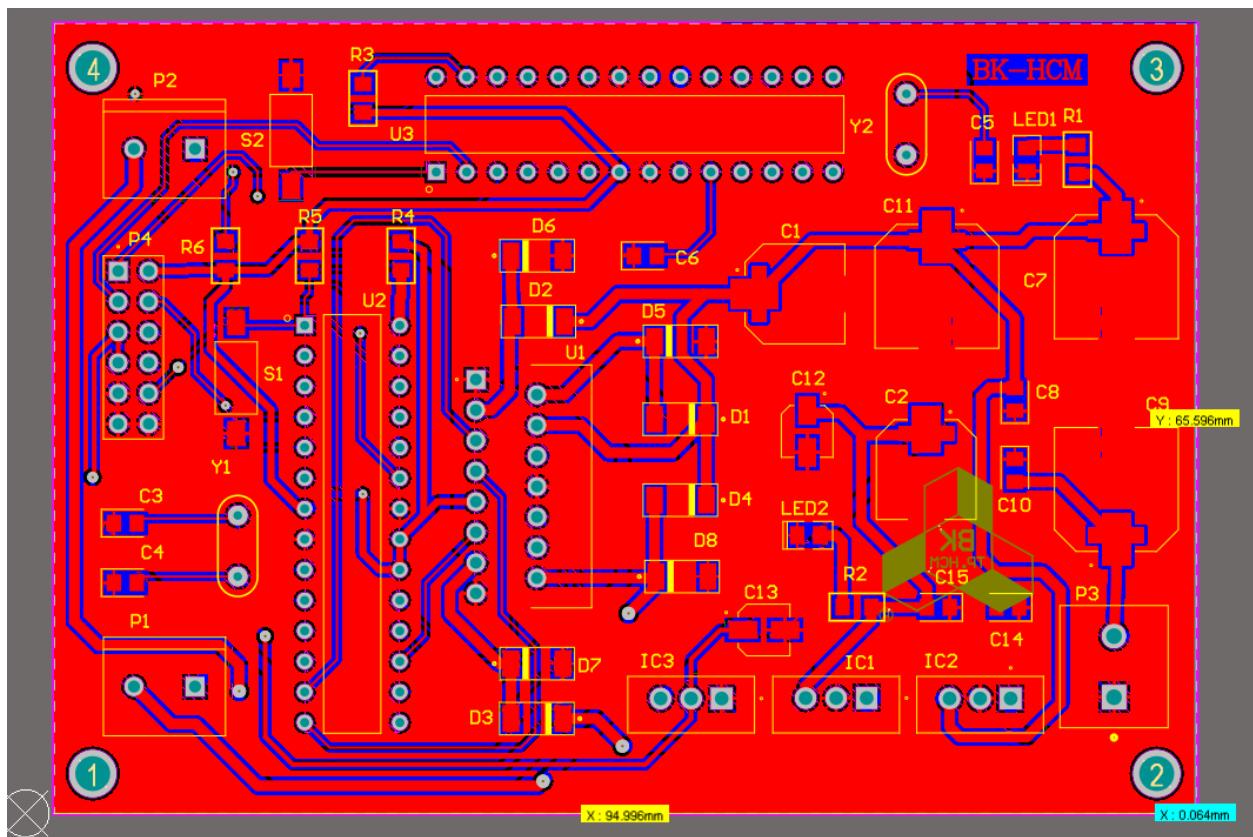
- Giao tiếp master và slaver 1 là: RX, TX
- Giao tiếp master và slaver 2 là: I2C

#### 4.2.4.3 Thiết kế mạch điện

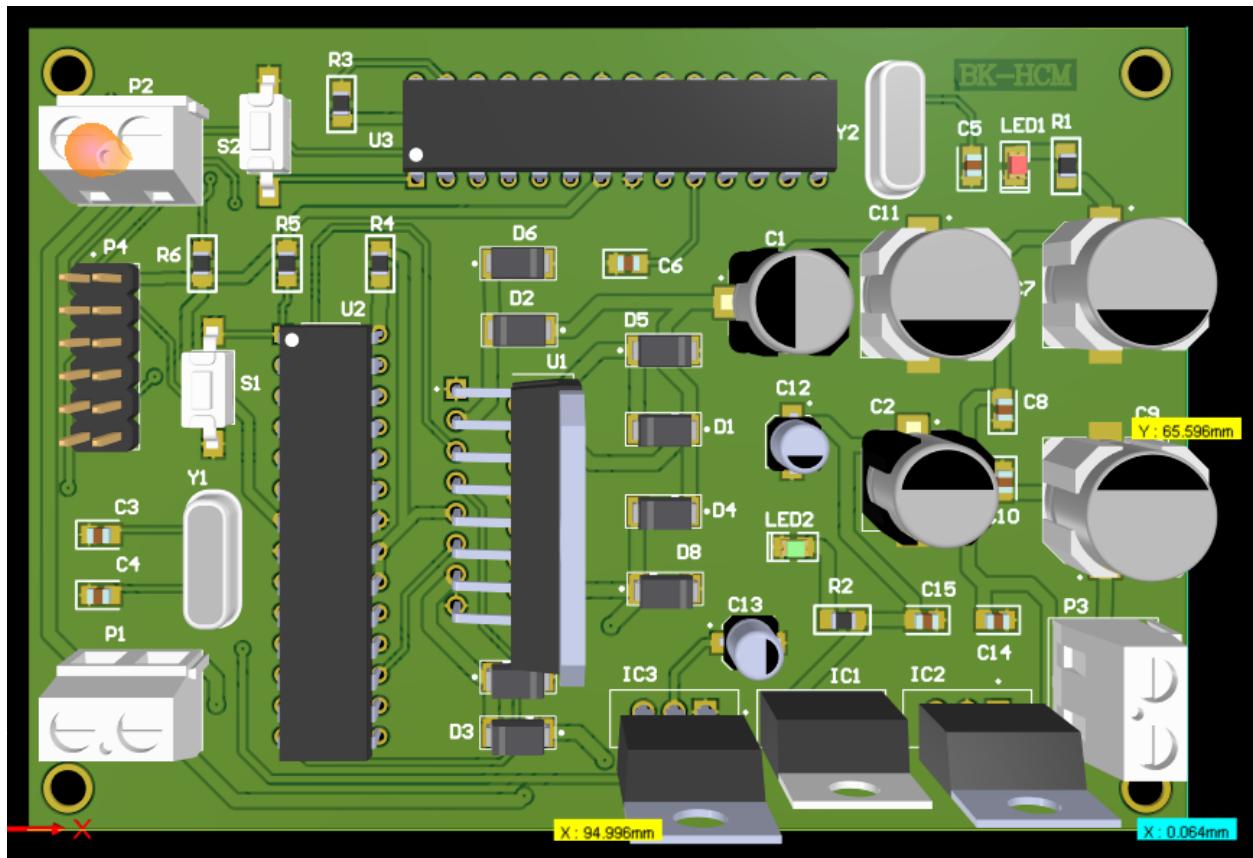


**Hình 4.47 Sơ đồ mạch Altium mạch điều khiển trung tâm**

Ta tiến hành đi dây cho mạch, kết quả thu được như sau:



Hình 4.48 PCB mạch điều khiển trung tâm

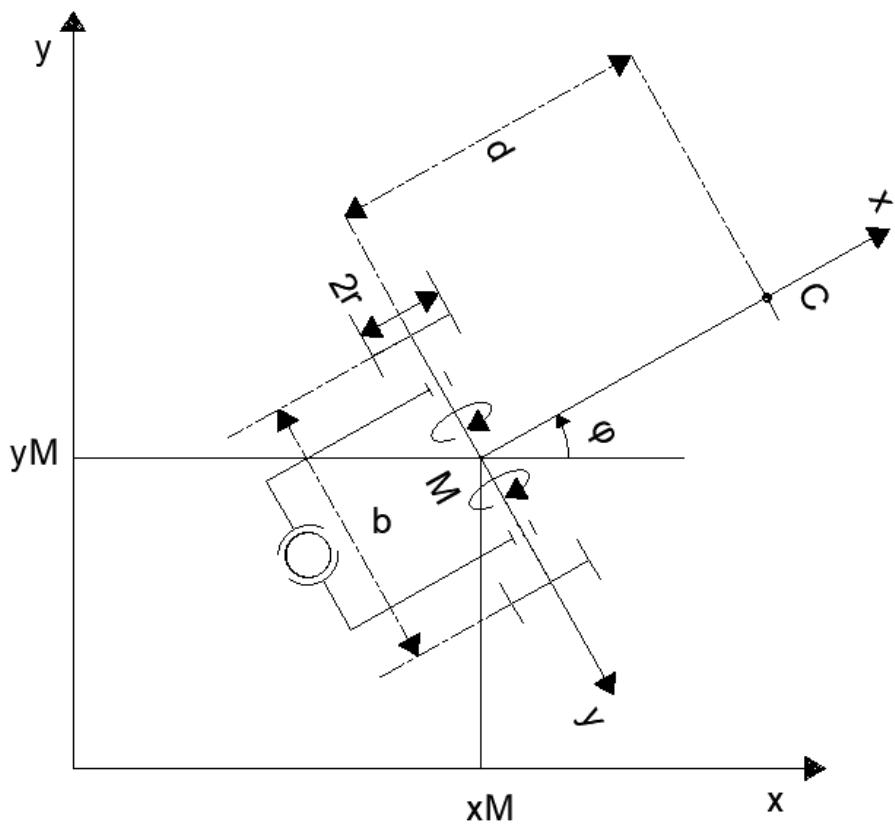


**Hình 4.49 Model 3D mạch điều khiển trung tâm**

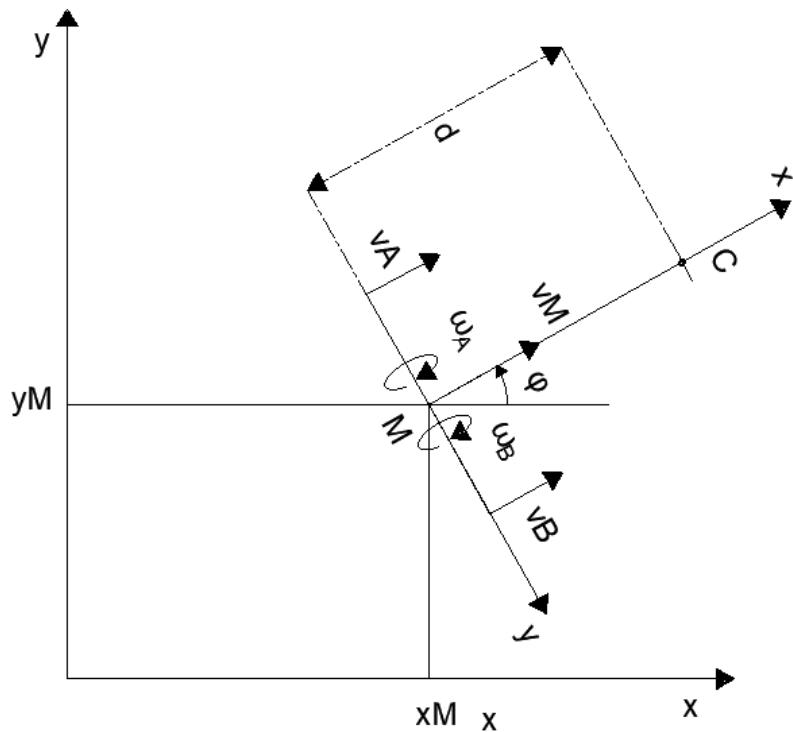
### 4.3 Mô hình hóa hệ thống

#### 4.3.1 Phân tích mô hình động học cho xe dò line

Nhóm chọn phân tích mô hình động học cho robot, bỏ qua phân tích động lực học vì trong quá trình dò đường dẫn do điều kiện địa hình bằng phẳng, xe di chuyển với tải trọng không đổi... nên việc phân tích động lực học là không cần thiết. Ta lập mô hình để phân tích động học cho robot như sau:



**Hình 4.50 Mô hình của hệ thống**



**Hình 4.51 Mô hình tương đương**

Mô hình hệ thống (4.50) đưa ra cấu trúc để thành lập phương trình động học cho hệ thống và được rút gọn thành mô hình tương đương ở (4.51)

Trong đó:

$d(m)$ : là chiều dài từ trục dẫn động bánh sau đến điểm bám line (trung điểm của dãy cảm biến)

$\omega_L(\text{rad/s})$ : là tốc độ quay của động cơ dẫn động bánh xe trái

$\omega_R(\text{rad/s})$ : là tốc độ quay của động cơ dẫn động bánh xe phải

$r(m)$ : là đường kính bánh xe chủ động

$M, C$ : lần lượt là trung điểm của trục dẫn động bánh sau và trung điểm của dãy cảm biến

Vận tốc tại hai tâm bánh xe A, B:

$$v_A = \omega_L r_L = \omega_L r \quad (1)$$

$$v_B = \omega_R r_R = \omega_R r \quad (2)$$

Phương trình động học tại điểm M trong hệ toạ độ của robot

$$\dot{x}_M = v_M \quad (3)$$

$$\dot{y}_M = 0 \quad (4)$$

$$\dot{\phi} = \omega \quad (5)$$

Phương trình động học tại điểm M trong hệ toạ độ gốc:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_M \\ \dot{y}_M \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 \\ \sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_M \\ 0 \\ \omega \end{bmatrix} \quad (6)$$

Vectơ vận tốc M so với hai tâm bánh xe A, B:

$$\overrightarrow{v_M} = \overrightarrow{v_A} + \vec{\omega} \times \overrightarrow{r_{M/A}} \quad (7)$$

$$\overrightarrow{v_M} = \overrightarrow{v_B} + \vec{\omega} \times \overrightarrow{r_{M/B}} \quad (8)$$

Cộng phương trình (7) và (8):

$$2\overrightarrow{v_M} = \overrightarrow{v_A} + \overrightarrow{v_B} + \vec{\omega} \times \left( \overrightarrow{r_{M/A}} + \overrightarrow{r_{M/B}} \right) = \overrightarrow{v_A} + \overrightarrow{v_B}$$

$$\rightarrow \overrightarrow{v_M} = \frac{\overrightarrow{v_A} + \overrightarrow{v_B}}{2}$$

$$\rightarrow v_M = \frac{v_A + v_B}{2} = \frac{r(\omega_R + \omega_L)}{2} \quad (9)$$

Trừ phương trình (4.7) và (4.8):

$$\begin{aligned}
\vec{0} &= \vec{v}_A - \vec{v}_B + \vec{\omega} \times (\overrightarrow{r_{M/A}} - \overrightarrow{r_{M/B}}) \\
\rightarrow \vec{\omega} &= \frac{\vec{v}_A - \vec{v}_B}{\overrightarrow{r_{M/B}} - \overrightarrow{r_{M/A}}} \\
\rightarrow \omega &= \frac{r(\omega_R - \omega_L)}{b}
\end{aligned} \tag{10}$$

Phương trình động học tại điểm M trong hệ toạ độ gốc theo  $\omega_R$  và  $\omega_L$ :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_M \\ \dot{y}_M \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} \cos \varphi & \frac{r}{2} \cos \varphi \\ \frac{r}{2} \sin \varphi & \frac{r}{2} \sin \varphi \\ \frac{r}{b} & \frac{-r}{b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_R \\ \omega_L \end{bmatrix} \tag{11}$$

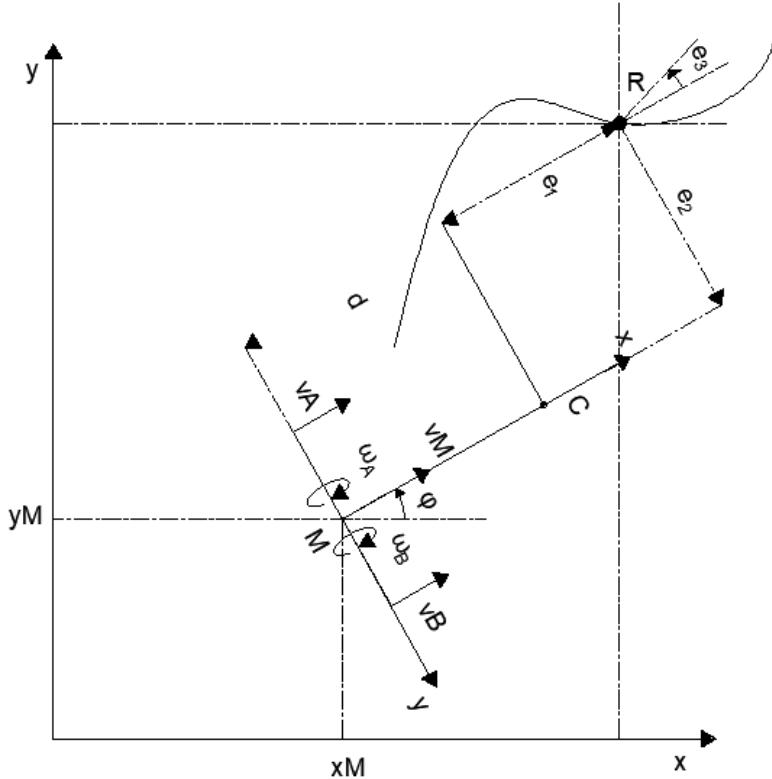
Toạ độ điểm C :

$$\begin{aligned}
x_C &= x_M + d \cos \varphi \\
y_C &= y_M + d \sin \varphi \\
\varphi_C &= \varphi
\end{aligned} \tag{12}$$

Suy ra được phương trình động học tại điểm C:

$$\begin{aligned}
\dot{x}_C &= \dot{x}_M - d \sin \varphi \dot{\phi} \\
\dot{y}_C &= \dot{y}_M + d \cos \varphi \dot{\phi} \\
\dot{\phi}_C &= \omega
\end{aligned} \tag{13}$$

Phương trình (13) là phương trình động học của robot tại điểm cần bám line C. Để thực hiện bám line mô hình sai số của hệ thống được đưa ra để phân tích và thiết kế bộ điều khiển. Mô hình ở hình 2 định nghĩa các sai số của hệ thống:



**Hình 4.52 Mô hình sai số của hệ thống**

Trong đó:

R: là điểm tham chiếu trên đường dẫn

$e_1$ : là sai số từ điểm tham chiếu R đến điểm bám line C theo phương dọc xe

$e_2$ : là sai số từ điểm tham chiếu R đến điểm bám line C theo phương ngang xe

$e_3$ : là sai số góc tại điểm R so với điểm C

Đặt xác sai số:

$$\begin{cases} e_x = x_R - x_C \\ e_y = y_R - y_C \\ e_\varphi = \varphi_R - \varphi_C \end{cases} \quad (14)$$

Đạo hàm phương trình (14) theo thời gian:

$$\begin{cases} \dot{e}_x = \dot{x}_R - \dot{x}_C \\ \dot{e}_y = \dot{y}_R - \dot{y}_C \\ \dot{e}_\varphi = \dot{\varphi}_R - \dot{\varphi}_C \end{cases} \quad (15)$$

Thay phương trình (13) và (14) vào phương trình (15):

$$\begin{cases} \dot{e}_x = \dot{x}_R - \dot{x}_M + dsin\varphi\dot{\varphi} \\ \dot{e}_y = \dot{y}_R - \dot{y}_M - dcos\varphi\dot{\varphi} \\ \dot{e}_\varphi = \dot{\varphi}_R - \dot{\varphi}_C = \dot{\varphi}_R - \dot{\varphi} \end{cases} \quad (16)$$

Các sai số của hệ thống:

$$\begin{cases} e_1 = e_x \cos \varphi_C + e_y \sin \varphi_C = e_x \cos \varphi + e_y \sin \varphi \\ e_2 = -e_x \sin \varphi_C + e_y \cos \varphi_C = -e_x \sin \varphi + e_y \cos \varphi \\ e_3 = e_\varphi = \varphi_R - \varphi_C \end{cases} \quad (17)$$

Đạo hàm phương trình (17) theo thời gian:

$$\begin{cases} \dot{e}_1 = \dot{e}_x \cos \varphi - e_x \dot{\varphi} \sin \varphi + \dot{e}_y \sin \varphi + e_y \dot{\varphi} \cos \varphi \\ \dot{e}_2 = -\dot{e}_x \sin \varphi - e_x \dot{\varphi} \cos \varphi + \dot{e}_y \cos \varphi - e_y \dot{\varphi} \sin \varphi \\ \dot{e}_3 = \dot{e}_\varphi \end{cases} \quad (18)$$

Suy ra

$$\begin{aligned} \dot{e}_1 &= (\dot{x}_R - \dot{x}_M + d \sin \varphi \dot{\varphi}) \cos \varphi - e_x \dot{\varphi} \sin \varphi + (\dot{y}_R - \dot{y}_M - d \cos \varphi \dot{\varphi}) \sin \varphi \\ &\quad + e_y \dot{\varphi} \cos \varphi \\ \dot{e}_2 &= -(\dot{x}_R - \dot{x}_M + d \sin \varphi \dot{\varphi}) \sin \varphi - e_x \dot{\varphi} \cos \varphi + (\dot{y}_R - \dot{y}_M - d \cos \varphi \dot{\varphi}) \cos \varphi \\ &\quad - e_y \dot{\varphi} \sin \varphi \\ \dot{e}_3 &= \dot{e}_\varphi \end{aligned}$$

Suy ra

$$\begin{aligned} \dot{e}_1 &= (\dot{x}_R \cos \varphi + \dot{y}_R \sin \varphi) - (\dot{x}_M \cos \varphi + \dot{y}_M \sin \varphi) \\ &\quad + (d \sin \varphi \dot{\varphi} \cos \varphi - d \cos \varphi \dot{\varphi} \sin \varphi) + \dot{\varphi} (-e_x \sin \varphi + e_y \cos \varphi) \\ \dot{e}_2 &= (-\dot{x}_R \sin \varphi + \dot{y}_R \cos \varphi) + (\dot{x}_M \sin \varphi - \dot{y}_M \cos \varphi) \\ &\quad - (d \sin \varphi \dot{\varphi} \sin \varphi + d \cos \varphi \dot{\varphi} \sin \varphi) - \dot{\varphi} (e_x \cos \varphi + e_y \sin \varphi) \\ \dot{e}_3 &= \dot{\varphi}_R - \dot{\varphi} \end{aligned}$$

Đặt

$$\dot{x}_R = v_R \cos \varphi_R$$

$$\dot{y}_R = v_R \sin \varphi_R$$

Suy ra

$$\begin{aligned} \dot{e}_1 &= (v_R \cos \varphi_R \cos \varphi + v_R \sin \varphi_R \sin \varphi) - (v \cos \varphi \cos \varphi + v \sin \varphi \sin \varphi) \\ &\quad + (d \dot{\varphi} \cos \varphi \sin \varphi - d \dot{\varphi} \cos \varphi \sin \varphi) + \dot{\varphi} (-e_x \sin \varphi + e_y \cos \varphi) \\ \dot{e}_2 &= (-v_R \cos \varphi_R \sin \varphi + v_R \sin \varphi_R \cos \varphi) + (v \cos \varphi \sin \varphi - v \sin \varphi \cos \varphi) \\ &\quad - d \dot{\varphi} (\sin \varphi \sin \varphi + \cos \varphi \cos \varphi) - \dot{\varphi} (e_x \sin \varphi + e_y \cos \varphi) \end{aligned}$$

$$\dot{e}_3 = \dot{\varphi}_R - \dot{\varphi}$$

Suy ra

$$\begin{aligned} \dot{e}_1 &= (v_R \cos \varphi_R \cos \varphi + v_R \sin \varphi_R \sin \varphi) - v \\ &\quad + (d \dot{\varphi} \cos \varphi \sin \varphi - d \dot{\varphi} \cos \varphi \sin \varphi) + \dot{\varphi} (-e_x \sin \varphi + e_y \cos \varphi) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{e}_2 &= v_R(\cos\varphi \sin\varphi_R - \sin\varphi \sin\varphi_R) + v(\cos\varphi \sin\varphi - \cos\varphi \sin\varphi) \\ &\quad - d\dot{\varphi}(\sin\varphi \sin\varphi + \cos\varphi \cos\varphi) - \dot{\varphi}(e_x \sin\varphi + e_y \cos\varphi) \\ \dot{e}_3 &= \dot{\varphi}_R - \dot{\varphi}\end{aligned}$$

Suy ra

$$\begin{aligned}\dot{e}_1 &= v_R \cos(\varphi_R - \varphi) - v + \omega e_2 = v_R \cos e_3 - v + \omega e_2 \\ \dot{e}_2 &= v_R \sin(\varphi_R - \varphi) - d\omega - \omega e_1 = v_R \sin e_3 - d\omega - \omega e_1 \\ \dot{e}_3 &= \omega_R - \omega\end{aligned}\tag{19}$$

Trong mô hình toán này sai số  $e_1$  được gán bằng 0, sai số  $e_2$  có thể đo được từ dây cảm biến, suy ra:

$$\begin{aligned}\dot{e}_2 &= v_R \sin e_3 - d\omega \\ \dot{e}_3 &= \omega_R - \omega\end{aligned}$$

Với sai số  $e_3$  nhỏ,  $\omega_R \sim 0$  ta được:

$$\dot{e}_2 = v_R e_3 - d\omega\tag{20}$$

$$\dot{e}_3 = -\omega$$

Với  $v_R$  là hằng số, thực hiện đạo hàm sai số  $e_2$  ta được:

$$\ddot{e}_2 = v_R \dot{e}_3 - d\dot{\omega}$$

Thay  $\dot{e}_3$  vào  $\ddot{e}_2$  ta được:

$$\ddot{e}_2 = -v_R \omega - d\dot{\omega}\tag{21}$$

Nhận xét mô hình động lực học của hệ thống

+ Thiết lập được mô hình động học mô tả chuyển động của robot tại điểm bám line C, từ đó hỗ trợ mô phỏng vị trí robot.

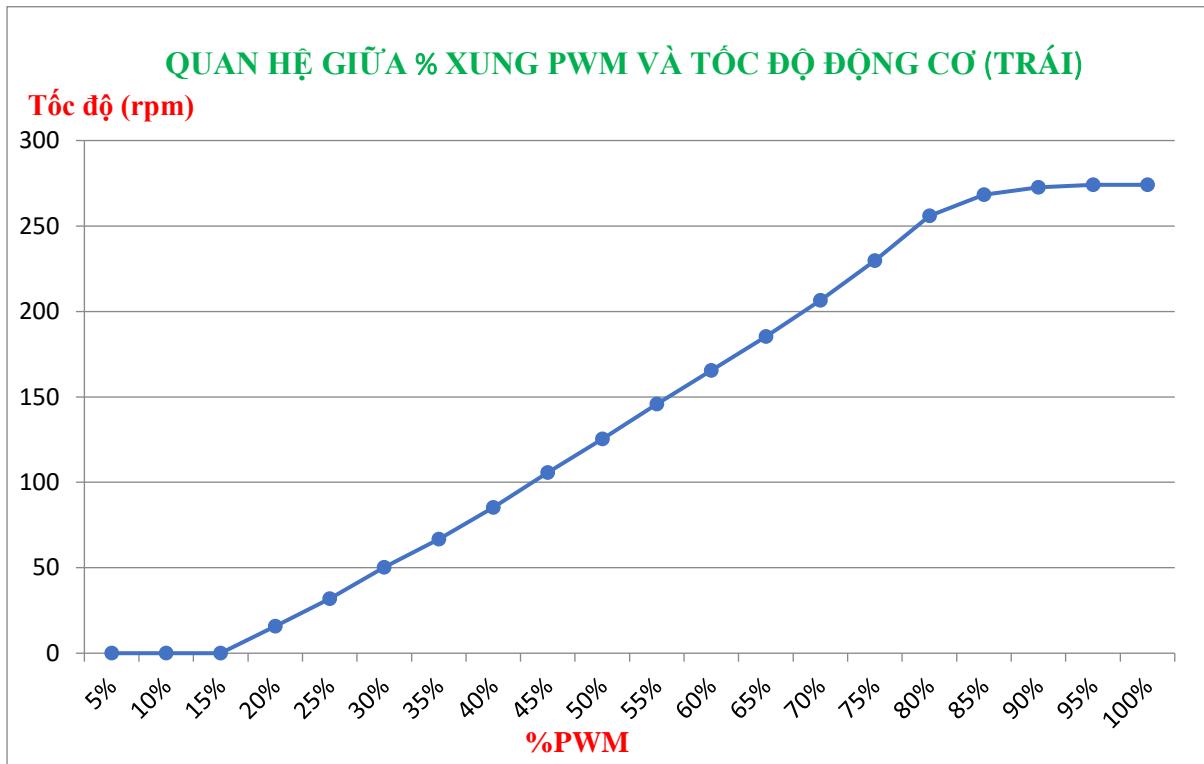
+ Mô hình sai số được tuyến tính hóa với  $e_3$  nhỏ. Tuy nhiên với sa bàn đã cho, tại các đoạn đường của các góc lớn làm vượt khỏi vùng hoạt động tuyến tính của hệ thống.

+ Vận tốc  $v$  được giả sử là hằng số, trong khi nó có thể thay đổi khi có mặt tải trọng và khi di chuyển qua các đoạn đường khác nhau.

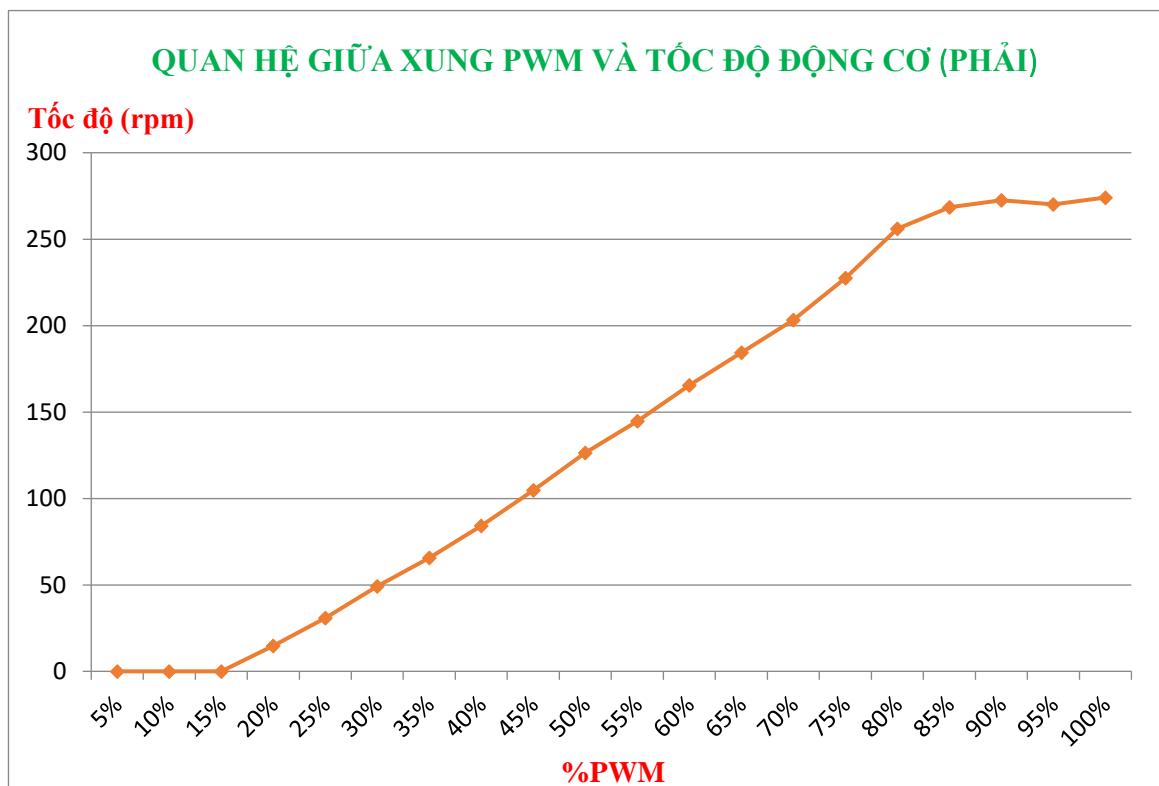
### 4.3.2 Tìm hàm truyền động cơ

Chọn tín hiệu ra là tốc độ quay của động cơ (vòng/phút) và tín hiệu vào là xung PWM. Cho các giá trị PWM từ 0% - 100% và tìm đáp ứng của tốc độ động cơ khi đạt

trạng thái xác lập, dựa trên các mẫu thu thập được ta tiến hành xử lý dữ liệu và vẽ đồ thị quan hệ giữa xung PWM và tốc độ động cơ



*Hình 4.53 Quan hệ giữa % PWM và tốc độ của động cơ trái*



*Hình 4.54 Quan hệ giữa % PWM và tốc độ của động cơ phải*

Từ các đồ thị trên, ta thấy tốc độ quay của 2 động cơ đều là một hàm tuyến tính theo giá trị PWM trong khoảng từ 15-80% trở đi. Do đó, hàm truyền của cả 2 động cơ tại từng giá trị PWM trong khoảng này gần như nhau.

#### 4.3.2.1 Xác định số lần lấy mẫu và chu kì lấy mẫu

Động cơ chạy với vận tốc tối đa là 280 rpm = 280/60 vòng/s = 14/3 vòng/s

Suy ra  $f_h = 14/3$  vòng/s

Theo tiêu chuẩn lấy mẫu Nyquist thì:  $f_s \geq 2f_h = 28/3 \approx 9.33$  Hz

Chọn  $f_s = 50$  Hz vì lý do phụ thuộc vào độ phân giải của encoder của động cơ.

Số lần lấy mẫu cần thiết:

$$N \cdot T_s = m \cdot T_h \Rightarrow m = \frac{N \cdot T_s}{T_h} = N \cdot \frac{0.02}{\frac{3}{14}} = N \cdot \frac{7}{75}$$

Với  $T_s = 0.02$  s là thời gian lấy mẫu vận tốc động cơ

$T_h = \frac{1}{(\frac{14}{3})} = \frac{3}{14}$  là chu kì quay của động cơ

N là số lần lấy mẫu. Chọn giá trị N để m là số nguyên

Vậy  $N = 75$  là giá trị đầu tiên để m là số nguyên  $\Rightarrow$  Phải lấy mẫu vận tốc 75 lần với chu kì lấy mẫu là 0.02s

#### 4.3.2.2 Tìm hàm truyền động cơ sử dụng toolbox identification của matlab

Nhận diện hàm truyền động và driver của động cơ được thực hiện bằng việc thu thập dữ liệu với đầu vào là xung pwm ( $u_{pwm}$ ) và đầu ra là tốc độ của động cơ ( $n_{dc}$ ). Đưa bộ dữ liệu này vào công cụ System Identification Toolbox để tìm hàm truyền của động cơ.

Phần trăm chu kì xung pwm được đọc trực tiếp từ vi điều khiển, và có giới hạn từ

$$0 \leq u_{pwm} \leq 100$$

Tốc độ vòng quay của động cơ được đọc từ một encoder gắn phía sau của động cơ, độ phân giải của encoder  $n_e$ . Công thức liên hệ giữa số xung đọc được và tốc độ quay của động cơ là:

$$n_{dc} = \frac{60n_x}{i_{dc}n_e t_s}$$

Trong đó:

$t_s(s)$  là thời gian lấy mẫu của động cơ

$n_x(xung)$  số xung được đọc trong khoảng thời gian  $t_s$

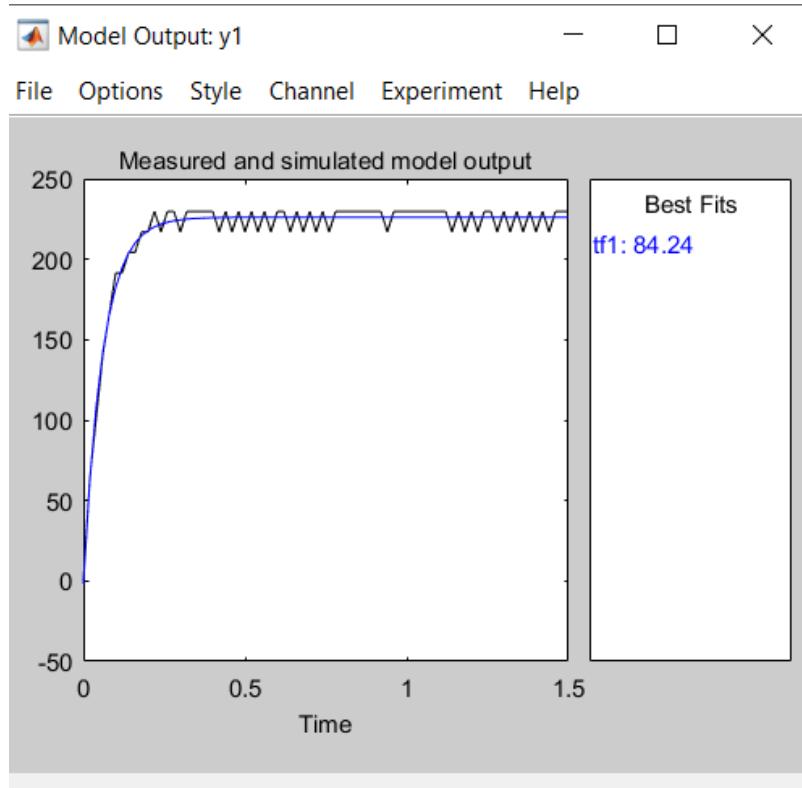
$i_{dc}$  là tần số truyền của hộp số động cơ

$n_e(xung/vòng)$  độ phân giải của encoder

#### 4.3.2.3 Hàm truyền 2 động cơ tìm dc

Ta dùng công cụ System Identification của Matlab, tìm được hàm truyền lần lượt của 2 hệ:

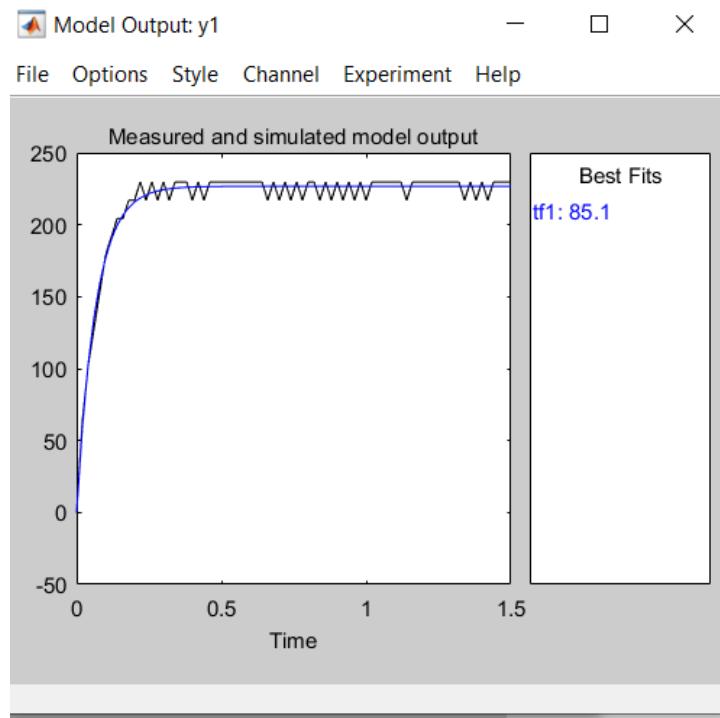
##### 4.3.2.3.1 Hàm truyền động cơ trái (tỉ lệ fit 84.24%)



Hình 4.55 Hàm truyền động cơ trái mô phỏng

$$TF_1 = \frac{17,03}{s + 16,57}$$

##### 4.3.2.3.2 Hàm truyền động cơ phải (tỉ lệ fit 85,1%)



**Hình 4.56** Hàm truyền động cơ phải mô phỏng

$$TF_2 = \frac{15.6}{s + 15,4}$$

### 4.3.3. Thiết kế bộ điều khiển

#### 4.3.3.1. Bộ điều khiển bám line

Từ phương trình (21) ta được:

$$\ddot{e}_2 = -v_R \omega - d \dot{\omega} \quad (3.1)$$

Đặt luật điều khiển để đơn giản hóa mô hình, chỉ điều khiển  $\omega$  :

$$\begin{cases} x_1 = e_2 \\ x_2 = \dot{x}_1 - \beta \omega = \dot{x}_1 - d \omega \end{cases} \quad (3.2)$$

Từ đó có được phương trình trạng thái của mô hình robot:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -d \\ -v_R \end{bmatrix} u \quad (3.3)$$

Phương trình trạng thái của robot có dạng như sau:

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (3.4)$$

$$y = Cx$$

Với mục tiêu đưa các biến trạng thái về 0 (đưa sai số  $e_2$  về 0) từ trạng thái ban đầu (state - variable feedback) ta có phương trình trạng thái của robot như sau:

$$\dot{x} = Ax + B(-Kx + r) = (A - BK)x + Br \quad (3.5)$$

$$y = Cx$$

Đặt lại  $u = -Kx$  với  $K = [k_1 \ k_2]$

$$u = -k_1 x_1 - k_2 x_2 = -k_1 e_2 - k_2 (\dot{e}_2 - d\omega) \quad (3.6)$$

$$\rightarrow u = \frac{-k_1}{k_2 d + 1} e_2 + \frac{k_2}{k_2 d + 1} \dot{e}_2$$

Kiểm tra tính điều khiển được:

$$C_M = [B \ AB] = \begin{bmatrix} -d & -v_r \\ -v_r & 0 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$\det(C_M) = -v_r^2 \neq 0$$

$$\rightarrow \text{rank}(C_M) = 2$$

Vậy hệ điều khiển được

Từ phương trình trạng thái viết phương trình đặc trưng của hệ kín:

$$\det(sI - (A - BK)) = s^2 - (k_1 d + k_2 v_r)s - k_1 v_r = 0$$

Đưa phương trình về dạng :

$$s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 = 0 \quad (3.8)$$

Đồng nhất hệ số phương trình (3.7) và (3.8) ta được:

$$\begin{cases} -(k_1 d + k_2 v_r) = 2\xi\omega_n \\ -k_1 v_r = \omega_n^2 \end{cases} \quad (3.9)$$

Phương trình (3.8) có dạng của bộ điều khiển PD với các hệ số:

$$K_P = \frac{-k_1}{k_2 d + 1}; \quad K_D = \frac{-k_2}{k_2 d + 1}$$

Chọn các hệ số  $K_P, K_D$  dương để thuận lợi cho tính toán và xử lí. Ta có các điều kiện như sau:

$$\begin{cases} k_2 < 0 \\ k_2 d + 1 > 0 \\ \rightarrow \frac{-1}{d} < k_2 < 0 \end{cases} \quad (3.10)$$

Thay  $k_1 = \frac{-\omega_n^2}{v_r}$  vào phương trình đầu (3.9) ta được

$$k_2 = \frac{d\omega_n^2 - 2\xi\omega_n}{\omega_n^2}$$

Bài toán bám đường dẫn, nên mong muốn đáp ứng không có độ vọt lố,  $\xi = 1$

$$k_2 = \frac{d\omega_n^2 - 2\omega_n}{\omega_n^2} \quad (3.11)$$

Từ phương trình (3.10) và (3.11) ta suy ra được:

$$\frac{-v_r^2}{d^2} < \omega_n^2 - 2\omega_n \frac{v_r}{d} < 0 \quad (3.12)$$

$$\rightarrow 0 < \omega_n < \frac{2v_r}{d} \quad (3.13)$$

Suy ra thời gian xác lập của hệ thống lấy theo tiêu chuẩn 5% là  $t_s = \frac{4d}{2v_r} \div inf$

Chọn  $t_s = K \times \frac{4d}{2v_r}$ , suy ra  $\omega_n = \frac{4}{t_s} = \frac{8v_r}{4d} = 2 \frac{v_r}{Kd}$

Với  $\xi = 1$ ,  $\omega_n = 2 \frac{v_r}{Kd}$  ta tính được các hệ số :

$$\begin{cases} k_1 = \frac{-\omega_n^2}{v_r} \\ k_2 = \frac{d\omega_n^2 - 2\omega_n}{\omega_n^2} \\ K_P = \frac{-k_1}{k_2 d + 1} \\ K_D = \frac{-k_2}{k_2 d + 1} \end{cases} \quad (3.14)$$

Công thức tính sai số xác lập:

$$e(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{sR(s)}{1+G(s)H(s)} \quad (3.15)$$

Hệ tuyén tính hoá,  $R(s) = \frac{1}{s^2}$

$$\rightarrow e(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{\frac{s^{\frac{1}{2}}}{s^2}}{1+G(s)H(s)} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s+sG(s)H(s)} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{sG(s)H(s)} \quad (3.16)$$

$$\text{Hệ số vận tốc } K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s)H(s) \quad (3.17)$$

$$\rightarrow e(\infty) = \frac{1}{K_v} \quad (3.18)$$

Số khâu tích phân	Hệ số vận tốc $K_v$
0	0
1	Constant
2	$\infty$

Theo bảng trên hệ thống có 1 khâu tích phân  $\rightarrow$  tiến hành tune hệ số  $K_v$

#### 4.3.4. Tìm các hệ số theo lý thuyết điều khiển

##### 4.3.4.1. Cho động cơ trái (động cơ A)

Hàm truyền tương đương:

$$G(s) = G_{PID}(s)TF_1(s) = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} \times \frac{17,03}{s + 16,57}$$

$$G(s) = \frac{17,03(K_D s^2 + K_P s + K_I)}{s(s + 16,57)}$$

Hàm truyền tổng của cả hệ thống vòng kín:

$$T(s) = \frac{17,03(K_D s^2 + K_P s + K_I)}{(17,03K_D + 1)s^2 + (17,03K_P + 16,57)s + 17,03K_I}$$

Phương trình đặc trưng của hệ thống cần thiết kế:

$$(17,03K_D + 1)s^2 + (17,03K_P + 16,57)s + 17,03K_I = 0$$

Từ yêu cầu đã đặt ra, ta tìm được tần số dao động riêng,  $\omega_n$ , và hệ số giảm chấn,  $\zeta$  tương ứng:

$$\zeta = -\frac{\ln \frac{\%OS}{100\%}}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2 \frac{\%OS}{100\%}}} = -\frac{\ln 0,05}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2 0,05}} = 0,69$$

$$\omega_n = \frac{4}{\zeta T_s} = \frac{4}{0,69 \times 0,15} = 38,65 \text{ (rad/s)}$$

Phương trình đặc trưng của hệ thống mong muốn có thành phần bậc hai là:

$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = s^2 + 26s + 1494$$

Đồng nhất hệ số (0.1) và (0.2), ta có:

$$\begin{cases} 17,03K_D + 1 = 1 \\ 17,03K_P + 16,57 = 26 \\ 17,03K_I = 1494 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} K_D = 0 \\ K_P = 0,55 \\ K_I = 87,73 \end{cases}$$

Như vậy, bộ điều khiển dùng cho động cơ trái là bộ điều khiển PI với các hệ số  $K_P = 0,55$  và  $K_I = 87,73$

#### 4.3.4.2. Cho động cơ phải (động cơ B)

Hàm truyền tương đương:

$$G(s) = G_{PID}(s)TF_1(s) = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} \times \frac{15,6}{s + 15,4}$$

$$G(s) = \frac{15,6(K_D s^2 + K_P s + K_I)}{s(s + 15,4)}$$

Hàm truyền tổng của cả hệ thống vòng kín:

$$T(s) = \frac{15,6(K_D s^2 + K_P s + K_I)}{(15,6K_D + 1)s^2 + (15,6K_P + 15,4)s + 15,6K_I}$$

Phương trình đặc trưng của hệ thống cần thiết kế:

$$(15,6K_D + 1)s^2 + (15,6K_P + 12,01)s + 15,6K_I = 0$$

Từ yêu cầu đã đặt ra, ta tìm được tần số dao động riêng,  $\omega_n$ , và hệ số giảm chấn,  $\zeta$  tương ứng:

$$\zeta = -\frac{\ln \frac{\%OS}{100\%}}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2 \frac{\%OS}{100\%}}} = -\frac{\ln 0,05}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2 0,05}} = 0,69$$

$$\omega_n = \frac{4}{\zeta T_s} = \frac{4}{0,69 \times 0,15} = 38,65 \text{ (rad/s)}$$

Phương trình đặc trưng của hệ thống mong muốn có thành phần bậc hai là:

$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = s^2 + 26s + 1494$$

Đồng nhất hệ số ( 0,3 ) và ( 0,4 ), ta có:

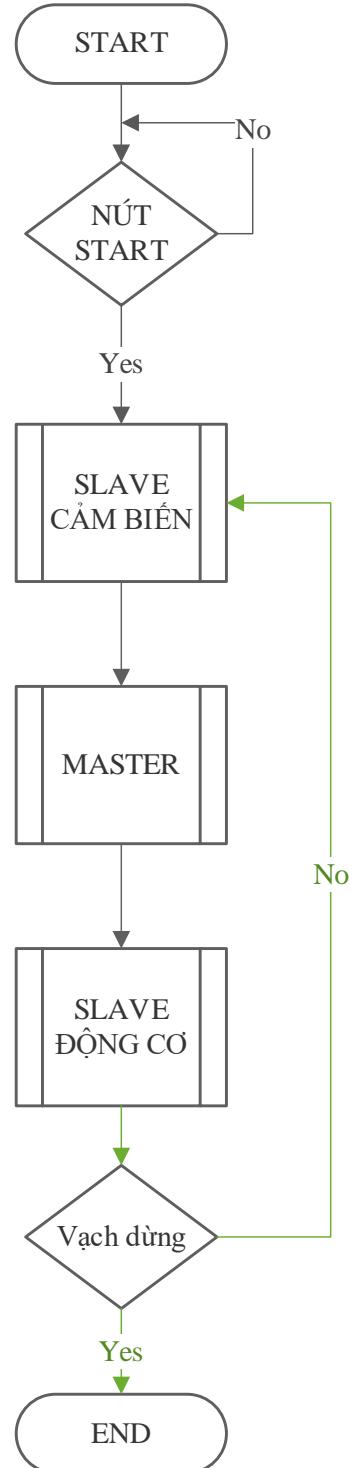
$$\begin{cases} 15,6K_D + 1 = 1 \\ 15,6K_P + 15,4 = 26 \\ 15,6K_I = 1494 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} K_D = 0 \\ K_P = 0,68 \\ K_I = 95,77 \end{cases}$$

Như vậy, bộ điều khiển dùng cho động cơ trái là bộ điều khiển PI với các hệ số  $K_P = 0,68$  và  $K_I = 95,77$

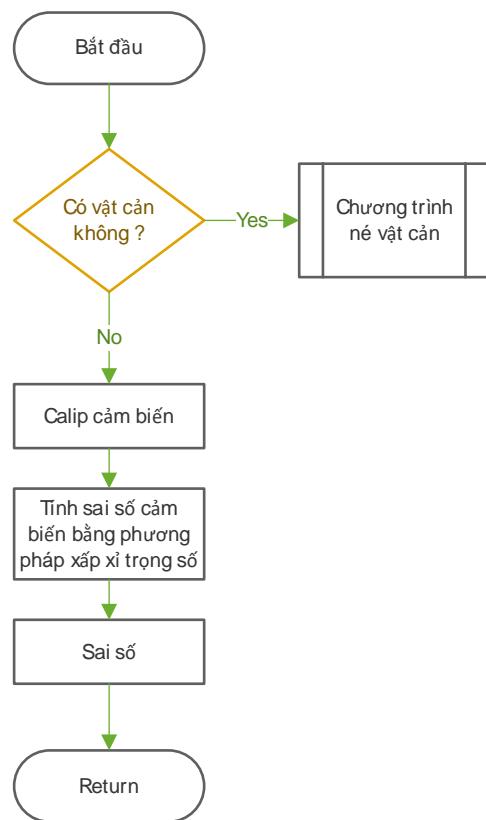
#### 4.3.5. Lưu đồ giải thuật điều khiển

Chương trình chính



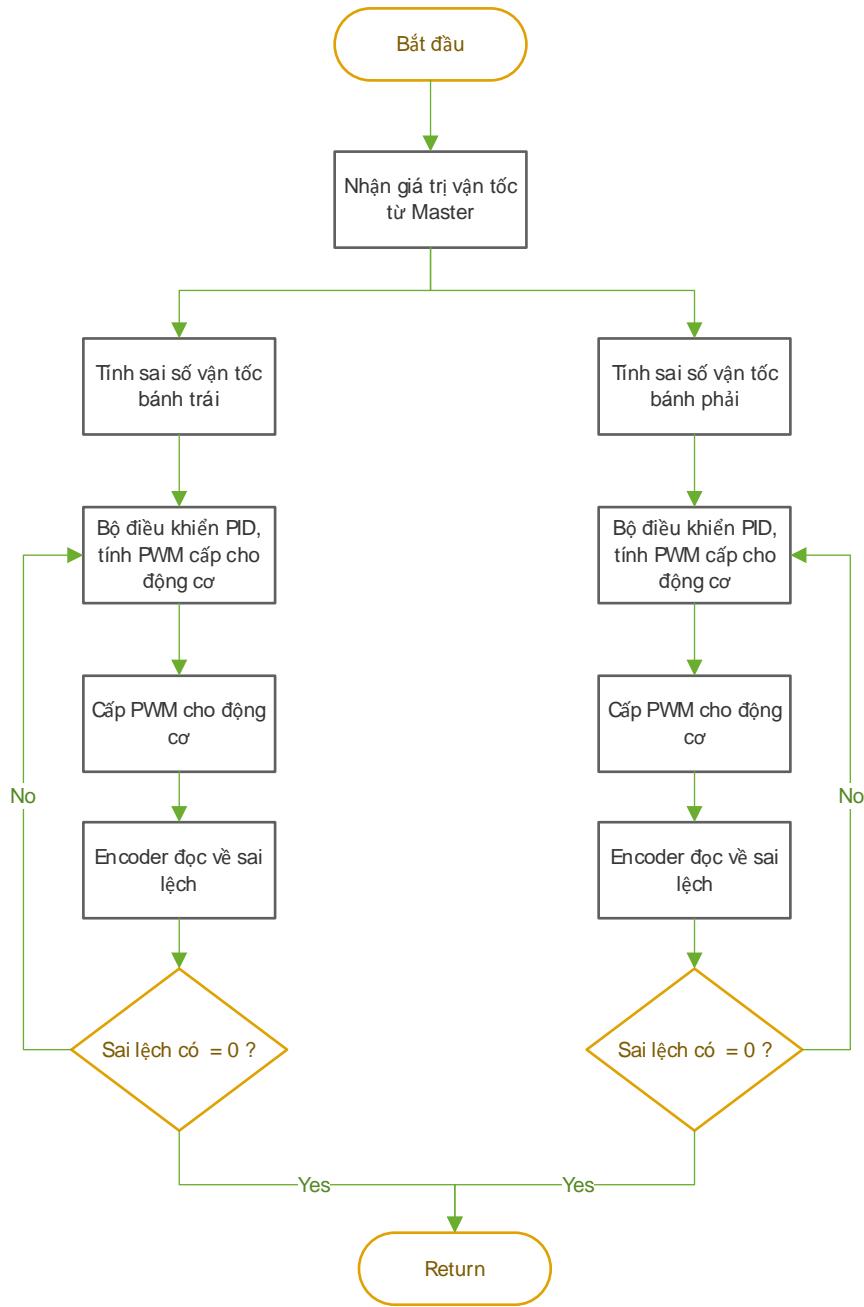
**Hình 4.57 Chương trình chính**

Chương trình slave cảm biến



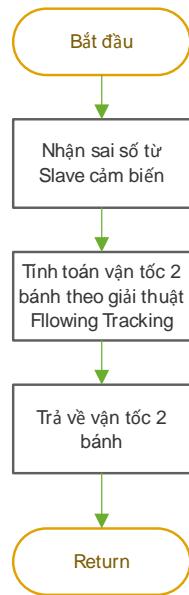
Hình 4.58 Chương trình Slave cảm biến

Chương trình slave động cơ



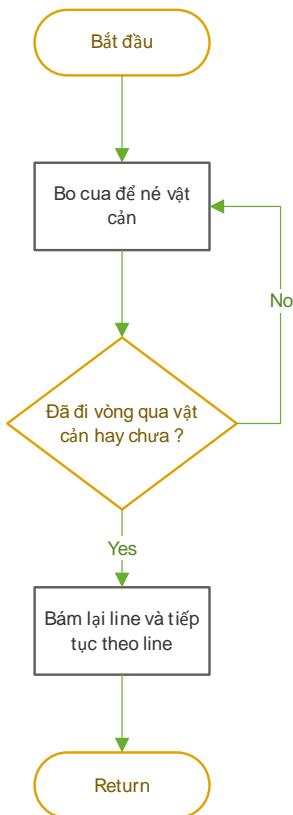
**Hình 4.59 Chương trình Slave động cơ**

Chương trình master



**Hình 4.60 Chương trình Master**

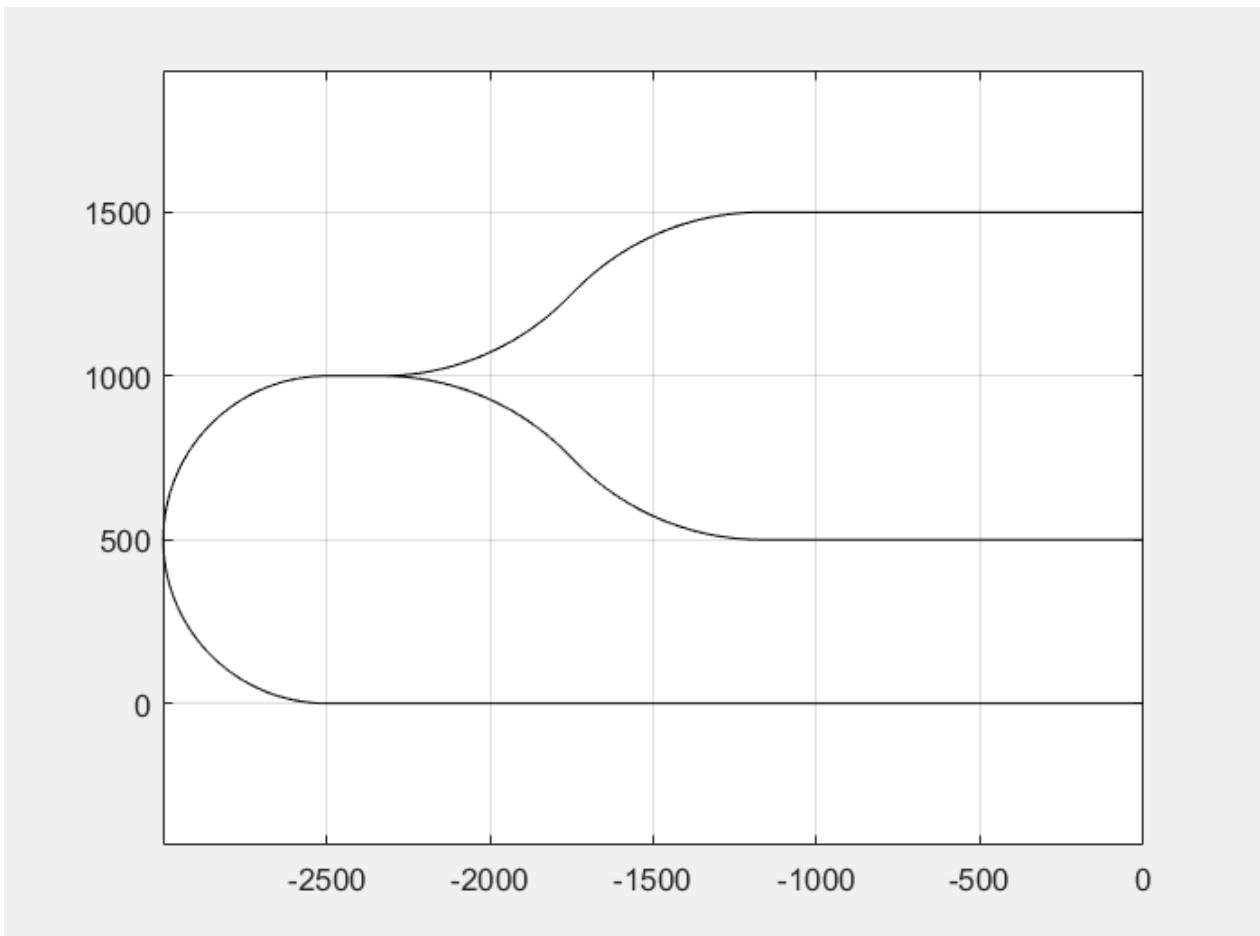
Chương trình con né vật cản



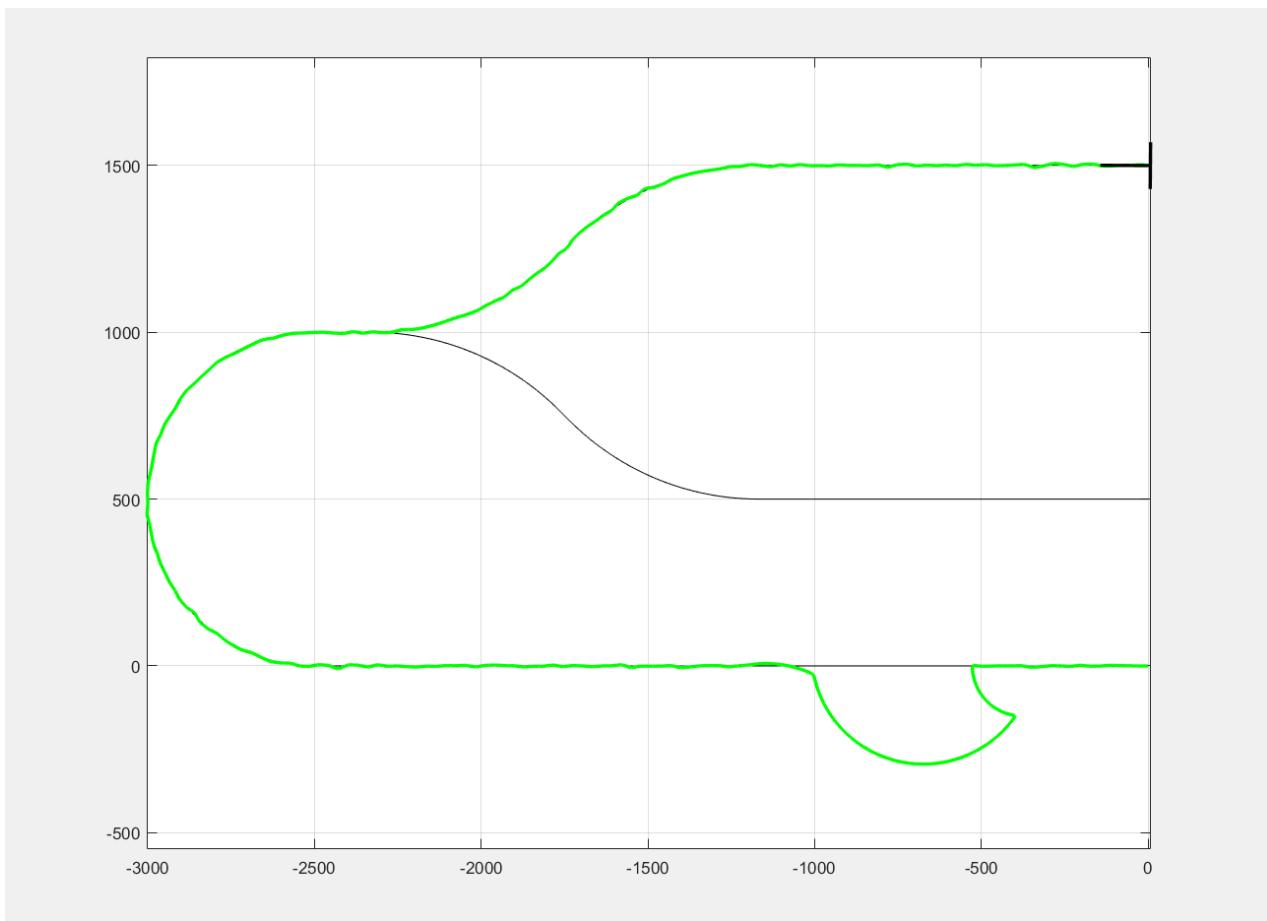
**Hình 4.61 Chương trình né vật cản**  
**CHƯƠNG 5: MÔ PHỎNG**

**Bảng 19 Các giá trị đầu vào mô phỏng**

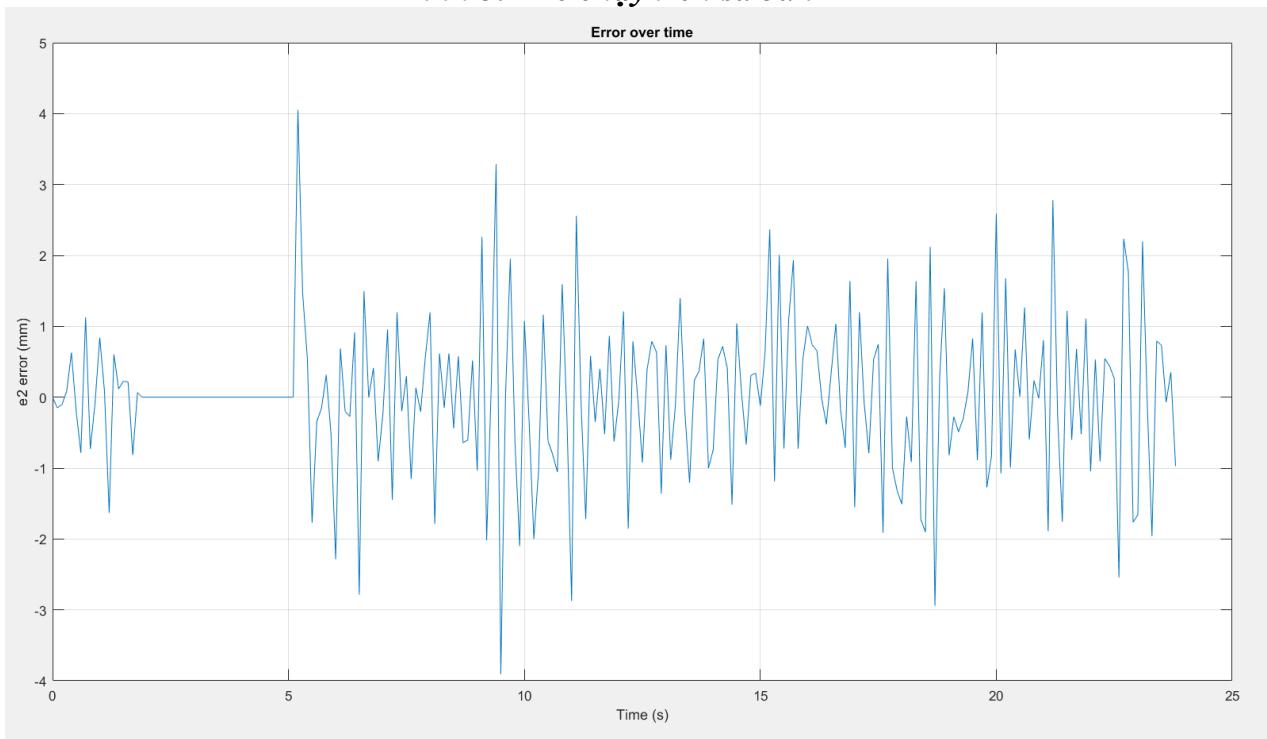
Đại lượng	Giá trị	Đơn vị
Chiều dài	150	mm
Chiều rộng	150	mm
Bán kính cong	500	mm
Vận tốc lớn nhất, $v_{max}$	0,3	m/s
Khoảng cách 2 bánh xe	150	mm
Đường kính bánh xe	65	mm
Khoảng cách giữa tâm 2 bánh xe và điểm tracking, $d$	30	mm
Chiều rộng line	26	mm
Thời gian lấy mẫu	0,1	s



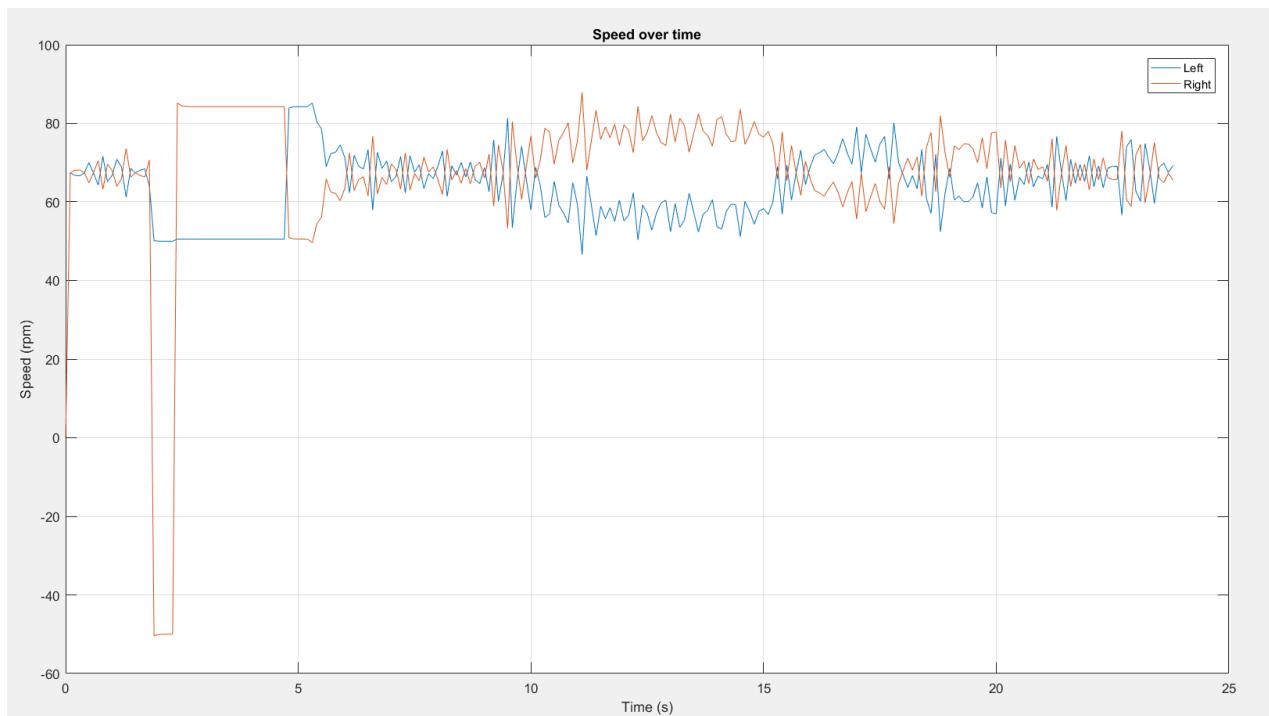
**Hình 5.1 Sa bàn mô phỏng**



**Hình 5.2 Xe chạy trên sa bàn**



**Hình 5.3 Sai số e2 theo thời gian**



**Hình 5.4 Tốc độ 2 động cơ theo thời gian**

- Nhận xét kết quả mô phỏng
  - + Phần lớn thời gian cho sai số e2 dưới 3mm tuy nhiên sau khi tránh vật cản và về lại line, đôi lúc sai số e2 sẽ tăng đột biến và đạt khoảng 4.1 mm

## CHƯƠNG 6: THỰC NGHIỆM

### 6.1 Lắp ráp cơ khí

#### - Các nguyên công gia công:

- + Gia công phay CNC độ chính xác cao: tấm thân xe, 2 tấm gá động cơ,
- + Gia công thô – cắt: Hộp pin, hộp pin, hộp che cảm biến
- + Khoan và doa lỗ: Tấm thân xe tại vị trí lắp chốt định vị, 2 tấm gá động cơ tại vị trí lắp chốt định vị.
- + Khoang và taro ren: 2 tấm gá động cơ tại vị trí bắt vít.
- Bulong: sử dụng bulong lục giác đầu dù: giúp tăng lực xiết và giảm kích thước để dễ lắp đặt tại các vị trí chật hẹp (so với lục giác đầu trụ). Dùng bulong lục giác đầu chìm tại vị trí nối trực: giúp chống tháo lỏng vì trực động cơ quay nhanh.



Hình 6.1 Lắp ráp cơ khí xe

### 6.2 Thực nghiệm phần điện và điều khiển

#### 6.2.1 Thực nghiệm cảm biến

Đã nêu ở phần 4.2.1

#### 6.2.2 Thực nghiệm driver động cơ

Đã nêu ở phần 4.3.2

### **6.2.3 Thực nghiệm nguồn và mạch hạ áp**

Với mạch động lực nhóm chọn nguồn 2 cục pin vuông 9V Beston có dung tích 1000mAh. Để cấp qua 2 động cơ, một mạch driver và một mạch hạ áp, có thể dùng liên tục 20 phút.

Sử dụng mạch giảm áp từ 18V thành 12V cho thí nghiệm tìm hàm truyền động cơ liên tục trong 5 phút nhận ra như sau:

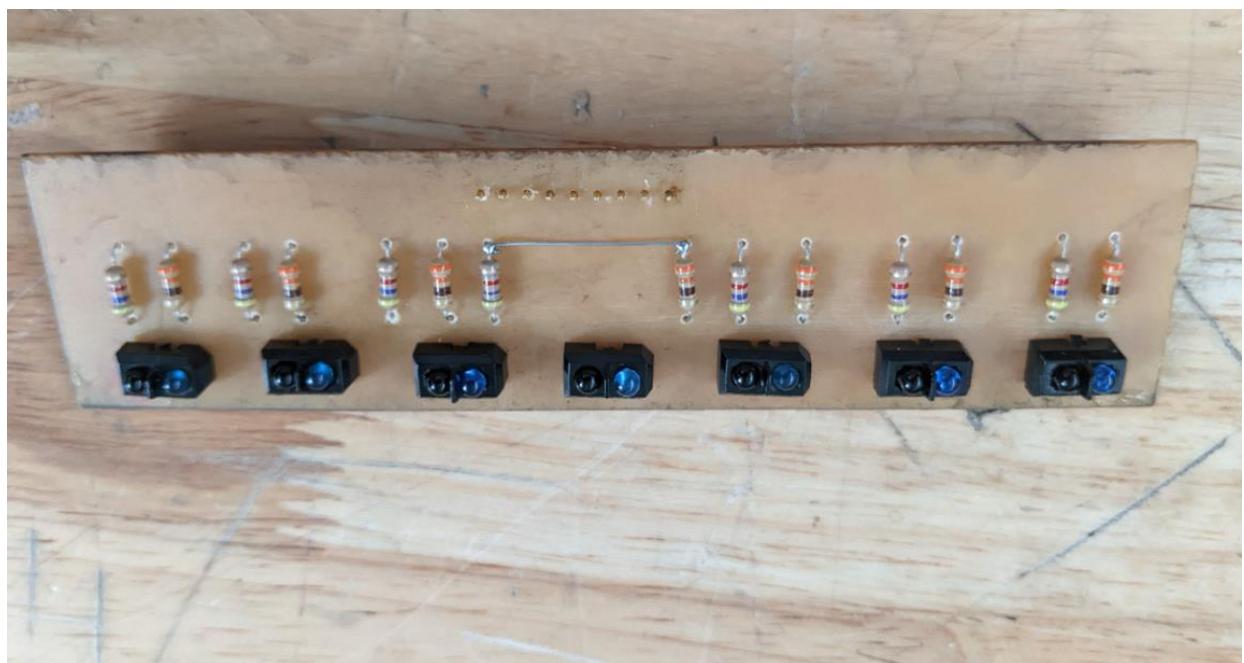
Điện áp 2 đầu động cơ max là 11.89V động cơ hoạt động bình thường và đạt được tốc độ cần thiết.

Đầu ra Vout của mạch giảm áp là 12V (không sụt áp).

Chip LM7812CV và L298N không nóng nên hiệu suất ổn định.

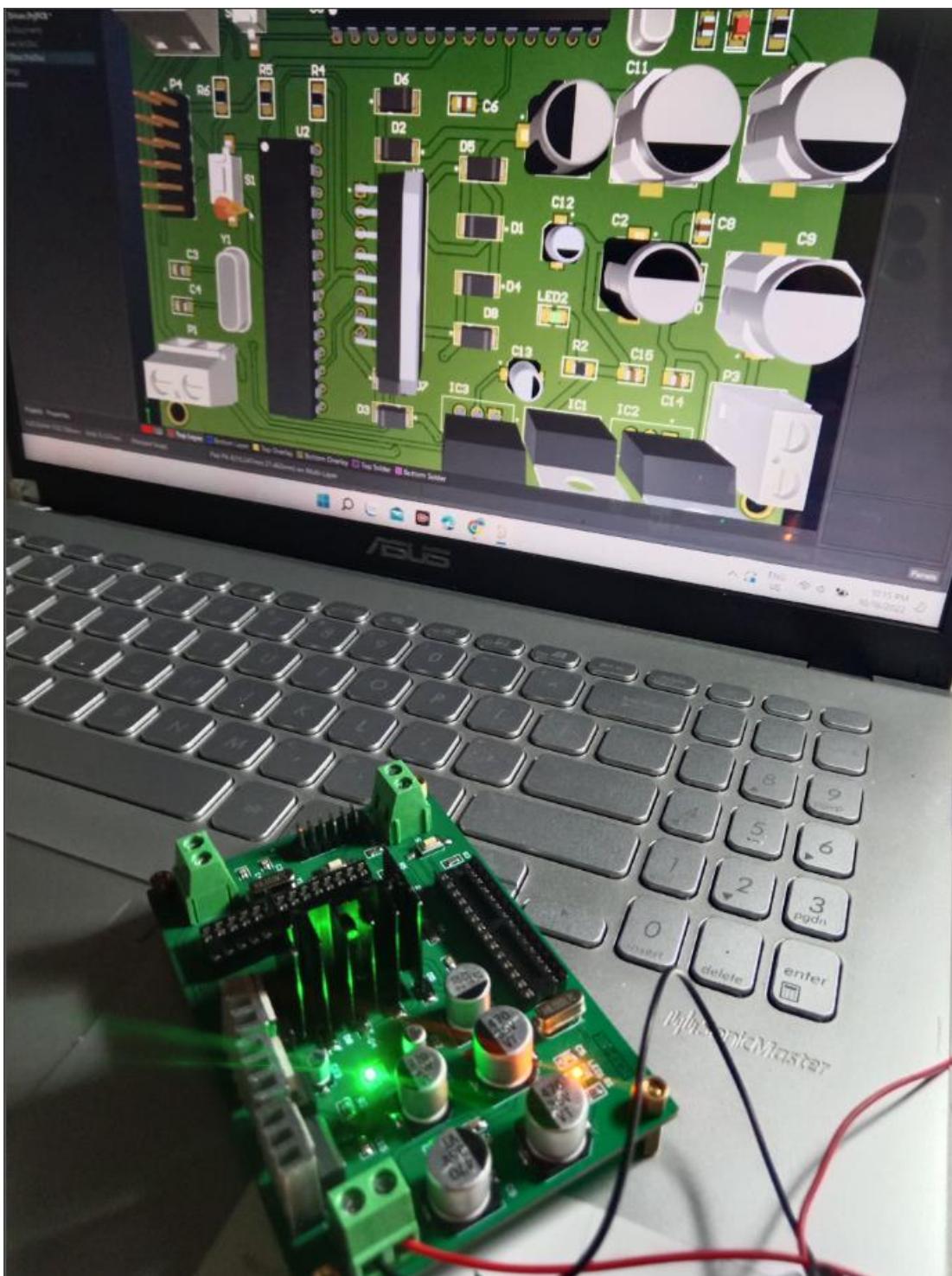
### **6.3 Hoàn thành thực nghiệm**

#### **Mạch cảm biến**



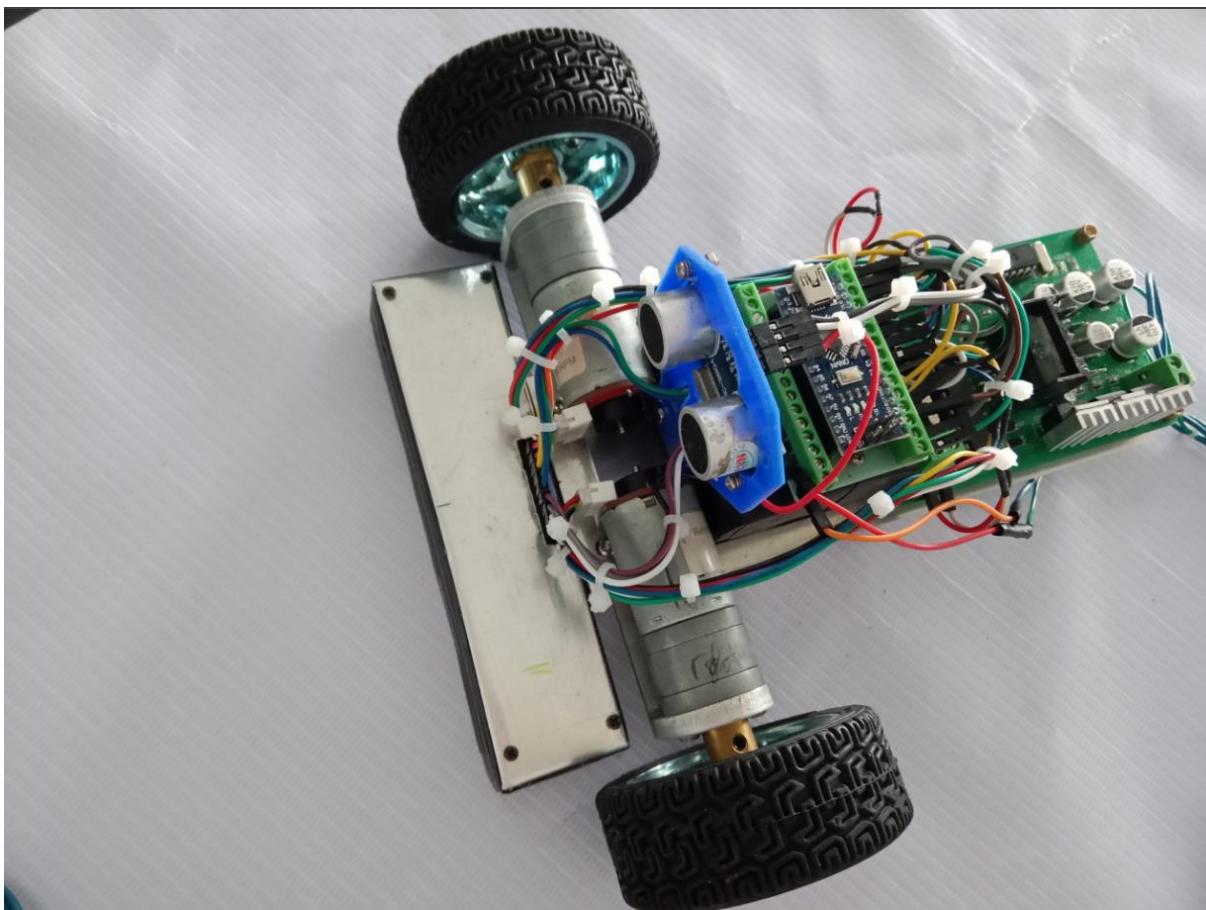
**Hình 6.2 Mạch cảm biến**

## Mạch điện chính



Hình 6.3 Mạch điện tổng

## Tổng thể xe



**Hình 6.4 Xe sau khi hoàn thành**

## CHƯƠNG 7: KẾT LUẬN

### 7.1 Công việc đã làm

- Tìm hiểu các thiết kế xe dò line tương tự với mục tiêu đầu bài, tìm hiểu các kiến thức có liên quan để đưa ra phương án tốt nhất cho đầu bài.

- Thiết kế và hiệu chỉnh sơ đồ gantt phù hợp để kiểm soát lịch trình làm việc.
- Thiết kế cơ, điện, lập trình, mô phỏng và thực nghiệm thành công.

### 7.2 Đánh giá mô phỏng

- Mô phỏng thành công phương trình động học robot khi đã tích hợp đầy đủ các bộ điều khiển và hiệu chỉnh các thông số.

- Kết quả là: hoàn thành mô phỏng đạt yêu cầu về sai số bám line như mục tiêu đặt ra ở đầu bài.

### 7.3 Đánh giá thực nghiệm

- Làm được:

- + Xe chạy đúng theo yêu cầu đầu bài đặt ra, xe nhỏ gọn, nhẹ.
- + Test cảm biến, động cơ, nguồn, mạch hạ áp hoạt động tốt.

### 7.4 Hạn chế

#### 7.4.1 Hạn chế phần cơ

- Thiết kế khoảng cách giữa cảm biến và tâm hai bánh xe nhỏ dẫn đến bộ điều khiển đáp ứng không kịp khiến sai số cao.

- Hai bánh xe còn đảo nhiều.

- Động cơ rẻ nên thời gian đáp ứng của động cơ cao, dẫn đến đáp ứng không kịp nếu chạy ở vận tốc cao

➔ Khắc phục hạn chế:

- + Mua động cơ với độ phân giải encoder cao hơn.
- + Thiết kế xe dẫn động bằng 2 bánh sau, cảm biến đặt phía trước (xe của nhóm hiện tại hai bánh dẫn động và cảm biến đều đặt ở trước).

#### 7.4.2 Hạn chế phần điện

**7.4.2.1 Hạn chế của mạch cảm biến:** vì cảm biến hàn tay nên không đáp ứng được độ đồng đều giữa hai cảm biến và độ đồng đều của các cảm biến so với mặt đất. Việc này dẫn đến sai số giữa các cảm biến lớn, đồng thời hàn tay nên độ bám của các chân hàn với mạch cũng không tốt dẫn đến nhiều ảnh hưởng đến quá trình đọc cảm biến về bộ điều khiển.

➔ Khắc phục hạn chế:

- + Đặt làm mạch PCB sẽ khắc phục được các hạn chế trên.
- + Lắp thêm tụ gồm 104 để dập các xung nhiễu nguồn từ nguồn.

#### **7.4.2.2 Hạn chế của driver điều khiển**

- IC L298N đáp ứng khá chậm, đồ thị vận tốc không được tuyến tính.
- Chưa cách ly hoàn toàn nguồn của động lực với vi điều khiển nên những lúc gấp tải nặng sẽ dẫn đến hiện tượng sụt áp trên vi điều khiển khiến cho vi điều khiển hoạt động không chính xác.
- Sử dụng ổn áp theo hình thức nối tiếp nhau 18V - 12V - 5V, nếu gặp sự cố quá áp ở đầu nguồn dễ gây ra 1 loạt 3 IC ổn áp và dẫn đến cháy luôn cả 3VDK.
- IC ổn áp họ LM cho ra dòng điện MAX thấp (Max 1.5A) nhưng lại rất nóng, phải dùng tản nhiệt loại lớn.

➔ Khắc phục hạn chế:

- + Thay IC driver L298N bằng IC TB6612.
- + Cần cách ly hoàn toàn nguồn của mạch điều khiển và mạch động lực.
- + Sử dụng họ ổn áp LM2596 để thay cho LM78xx để giảm tỏa nhiệt trên IC và hiệu suất đầu ra cao hơn.

#### **7.4.3 Hạn chế phần điều khiển**

- Các hệ số của bộ điều khiển chưa tốt khiến hệ thống khi thực nghiệm chạy không giống với mô phỏng.
- Giải thuật điều khiển tracking chưa được áp dụng tối ưu vì chưa thực nghiệm đo sai số e3 trong bộ điều khiển.

➔ Khắc phục hạn chế:

- + Tối ưu hệ số của bộ điều khiển.
- + Đo sai số góc quay e3 hoặc dùng giải thuật khác, ví dụ như Fuzzy...

#### **7.5 Định hướng phát triển của đề tài**

- Tích hợp thêm camera trên xe để phục vụ cho nhu cầu giám sát trong nhà máy
- Dưa đề tài lên một quy mô lớn hơn, thiết thực hơn đó là ứng dụng xe tự động giám sát trong nhà máy và có thể vận chuyển hàng hóa như: AGV, AMR ,... trong tương lai.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] *AlphaBot User Manual* ( Feb.2017)
- [2] <https://fastech.vn/agv-robot-cong-nghiep.html>
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=CFzgUMBzBbg&list=PL6rY3HZq9uKYsHOM5mdxyFG4AetBDnk7C&index=3>
- [4] <http://arduino.vn/bai-viet/685-huong-dan-dieu-khien-dong-co-buoc>
- [5] Mustafa Engin, Dilüad Engin, Path Planing of Line Follower Robot, Proceedings of the 5th European DSP Education and Research Conference, 2012.
- [6] F. Kaiser et.al., Line Follower Robot: Fabrication and accuracy measurement by data acquisition, International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT) 2014.
- [7] Khin Hooi Ng et. al., Adaptive Phototransistor Sensor for Line Finding, International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012 (IRIS 2012).
- [8] <https://congngedoluong.com/2020/04/27/cam-bien-hong-ngoai/>
- [9] <https://kimhungphu.vn/nguyen-ly-hoat-dong-cua-cam-bien-tiem-can>
- [10] [https://vinfastauto.com/vn\\_vn/cam-bien-sieu-am](https://vinfastauto.com/vn_vn/cam-bien-sieu-am)
- [11] Dirman Hanafi et. al., Wall Follower Autonomous Robot Development Applying Fuzzy Incremental Controller , Intelligent Control and Automation, 2013, 4,18-25.
- [12] Huu Danh Lam, Tran Duc Hieu Le, Tan Tung Phan and Tan Tien Nguyen, *Smooth tracking controller for AGV through junction using CMU camera* , Hội nghị Toàn quốc lần thứ 7 về Cơ điện tử - VCM (2014).
- [13] Takanori Fukao et. al., Adaptive Tracking Control of a Nonholonomic Mobile Robot, IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS AND AUTOMATION, VOL. 16, NO.5, OCTOBER 2000.
- [14] R. Fierro et. al., Control of a Nonholonomic Mobile Robot Using Neural Networks, IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS, VOL. 9, NO. 4, JULY 1998.
- [15] Yutaka Kanayama et. al., A Stable Tracking Control Method for an Autonomous Mobile Robot , IEEE 1990.

- [16] M. S. Islam & M. A. Rahman, Design and Fabrication of Line Follower Robot, Asian Journal of Applied Science and Engineering, Volume 2, No 2 (2013).
- [17] M. Zafri Baharuddin et. al., Analysis of Line Sensor Configuration for the Advanced Line Follower Robot , Universiti Tenaga Nasional, Malaysia.
- [18] Oguz KOSE et. al., PID CONTROLLED LINE FOLLOWER ROBOT DESIGN ON INDOOR 3D NETWORKS.
- [19] Juing-Huei Su et. al., An intelligent line-following robot project for introductory robot courses, World Transactions on Engineering and Technology Education, Vol.8, No.4, 2010
- [20] [https://www.engineeringtoolbox.com/factors-safety-fos-d\\_1624.html](https://www.engineeringtoolbox.com/factors-safety-fos-d_1624.html)
- [21] [https://roymech.org/Useful\\_Tables/Tribology/co\\_of\\_frict.html](https://roymech.org/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.html)
- [22] <https://nshopvn.com/product/dong-co-dc-giam-toc-ga25-encoder/?variant=37522>
- [23] <https://linhkiendoan.com/san-pham/oc-luc-giac-cho-banh-xe-v2-v3-4mm/>
- [24] <https://www.youtube.com/watch?v=gklovWsTN58>
- [25] <https://sieuthiocvit.com/chot-dinh-vi-dac-msv-inox-304-d1-5-d6>
- [26] Sổ tay dung sai lắp ghép – Ninh Đức Tôn.
- [27] [Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí Tập 2 – Trịnh Chất](#)
- [28] [ncr18650b datasheet, ncr18650b pdf, ncr18650b Data Sheet PDF - Datasheetspdf.com](https://datasheetspdf.com/ncr18650b_datasheet_ncr18650b_pdf_ncr18650b_Data_Sheet_PDF_.html)