

THIẾT KẾ XE ĐIỆN TỰ HÀNH VẬN CHUYỂN LINH KIỆN TRONG NHÀ MÁY LẮP RÁP Ô TÔ

DESIGN OF AN ELECTRIC AUTOMATIC GUIDED VEHICLE FOR TRANSPORTING COMPONENTS IN AUTOMOBILE ASSEMBLY FACTORIES

Phạm Quốc Thái*, Văn Công Tài

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; *pqthai@dut.udn.vn

Tóm tắt - Với sự phát triển ngày càng mạnh mẽ của cuộc cách mạng công nghiệp 4.0, tự động hóa đang xuất hiện ngày càng nhiều trong đời sống và sản xuất. Chính vì sự phát triển mạnh mẽ đó đã đặt ra vấn đề thiết yếu cần giải quyết là bài toán tối ưu trong vận chuyển hàng hóa. Một trong những yếu tố quan trọng nhất để có thể giải quyết bài toán đó là phương tiện vận chuyển hàng hóa tự động. Bài báo đã phân tích, tính toán, thiết kế xe điện tự hành dùng để vận chuyển linh kiện hàng hóa trong nhà máy lắp ráp ô tô. Xe điện được thiết kế với tải trọng lớn nhất là 1 tấn và vận tốc tối đa xe có thể đạt được là 3,6 km/h. Xe điện đáp ứng được các điều kiện vận hành trong nhà máy sản xuất, có thể điều chỉnh linh hoạt giữa chế độ tự động hoặc kết hợp với điều khiển bởi con người. Kết quả thử nghiệm mô hình cho thấy xe hoạt động ổn định và có thể đáp ứng được yêu cầu vận chuyển hàng trong môi trường công nghiệp.

Từ khóa - Xe điện tự hành vận; cảm biến; bộ điều khiển trung tâm; tính toán; mô phỏng

1. Đặt vấn đề

Ngày nay, với sự phát triển ngày càng nhanh chóng của khoa học kỹ thuật thì cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 diễn ra ngày càng nhanh và ảnh hưởng lớn đến đời sống, sản xuất. Chính vì sự phát triển mạnh mẽ đó đã đặt ra vấn đề thiết yếu cần giải quyết là bài toán tối ưu trong vận chuyển hàng hóa ở nhà máy sản xuất. Việc giải quyết bài toán tối ưu giúp quản lý được số lượng vật tư, giảm thiểu tối đa chi phí lưu kho và nâng cao năng suất sản xuất. Một trong những yếu tố quan trọng nhất để giải bài toán tối ưu là xe điện tự động vận chuyển hàng hóa.

Xe điện tự động vận chuyển hàng hóa (AGV - Automatic Guided Vehicle) vận chuyển hàng hóa từ kho đến các dây chuyền sản xuất ở nhà máy. Việc nghiên cứu và phát triển xe điện tự động đang là nhiệm vụ hàng đầu của các nhà máy sản xuất để cạnh tranh về giá thành sản phẩm. Bài báo sẽ đề cập đến nghiên cứu xe điện tự động vận chuyển hàng hóa trong nhà máy lắp ráp ô tô.

2. Thiết kế xe điện tự hành vận chuyển hàng hóa

2.1. Thiết kế tổng thể

Xe điện được thiết kế với mục đích kéo các kệ để linh kiện tới các trạm sản xuất với tải trọng tối đa 1 tấn. Vận tốc tối đa hoạt động của xe là 1 m/s để đảm bảo đúng yêu cầu về nhịp độ sản xuất của dây chuyền. Xe điện sử dụng trong nhà máy sản xuất với địa hình bằng phẳng, không lên dốc.

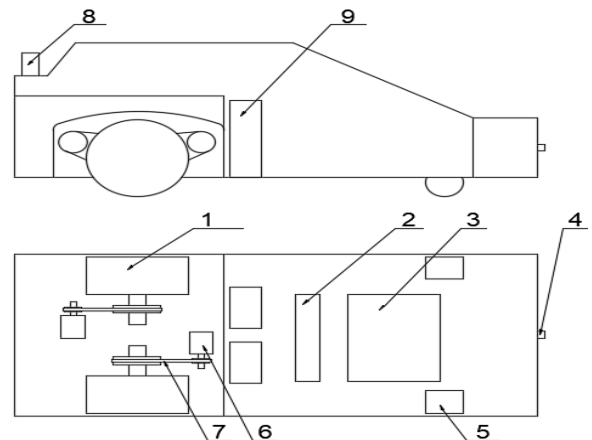
Xe điện được thiết kế với hai chế độ riêng biệt: chế độ tự động dò line và chế độ điều khiển không dây thông qua kết nối Bluetooth. Hai chế độ này có thể luân phiên thay đổi để giúp xe hoạt động linh hoạt trong các điều kiện hoạt động khác nhau.

Ngoài ra, nhằm đảm bảo an toàn cho sự hoạt động của

Abstract - With the development of increasingly powerful industrial revolution 4.0, automation has appeared more and more in all aspects of life and production. This strong development requires the optimization of freight transport. One of the most important factors to solve this problem is the automatic vehicle of transporting components. The article analyzes, calculates, and designs an electric Automatic Guided Vehicle for transporting components to optimize operations in automobile assembly factories. This electric vehicle is designed with a maximum load of 1 ton and the maximum speed can reach 3.6 km/h. The electric vehicle meets the operating conditions in the factor and can be adjusted flexibly between an automatic mode or combined with human controlling. The model test results show that the vehicle operates stably and can meet the requirements of transporting components in industrial environments.

Key words - Automatic electric guided vehicle; sensor, electronic control unit; calculation; simulation

xe và môi trường xung quanh, nhóm tác giả đã thiết kế ở trước xe có hệ thống cảm biến vật cản. Khi phát hiện vật cản cách tầm 40 cm thì xe sẽ cảnh báo và cho hệ thống phanh điều khiển dừng xe lại.



Hình 1. Sơ đồ bố trí tổng thể xe điện

- 1- Bánh dẫn động và dẫn hướng; 2- Cảm biến dò đường line;
- 3- Khoang chứa mạch điều khiển; 4- Cảm biến dò vật cản;
- 5- Bánh đỡ phía sau; 6- Động cơ điện; 7- Bộ truyền xích;
- 8- Chốt để kéo hàng; 9- Nguồn cấp năng lượng.

2.2. Thiết kế cơ khí

Xe được thiết kế phù hợp với điều kiện hoạt động trong nhà máy. Đồng thời, phần thiết kế cơ khí của xe đã được tối ưu hóa sao cho khối lượng của xe nhỏ vừa đủ cho độ bám của xe và vừa đảm bảo độ bền tại mọi chế độ hoạt động: tăng tốc, hoạt động toàn tải, hoạt động không tải, vào cua, phanh...

Bên cạnh đó, phần chọn động cơ và thiết kế bộ truyền động từ động cơ đến bánh xe cũng là một phần rất quan

trọng, nó giúp xe hoạt động ổn định, đúng vận tốc yêu cầu đặt ra và đủ momen kéo tại bánh xe chủ động. Các thông số cơ bản của xe điện được giới thiệu ở Bảng 1.

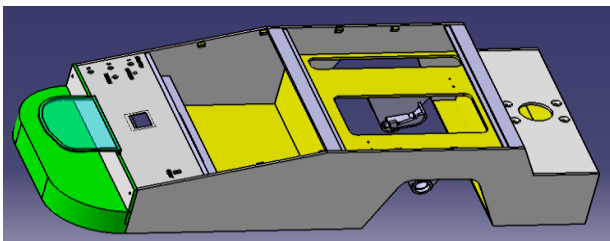
Bảng 1. Thông số thiết kế của xe

STT	Thông số	Đơn vị	Giá trị
1	Loại phương tiện		Xe AGV
2	Kích thước bao (DxRxC)	mm	1600x690x385
4	Tự trọng	kg	223
5	Công suất động cơ điện	W	2x500
6	Tốc độ tối đa	km/h	3,6
7	Tải trọng	kg	1000

2.2.1. Thiết kế khung xe

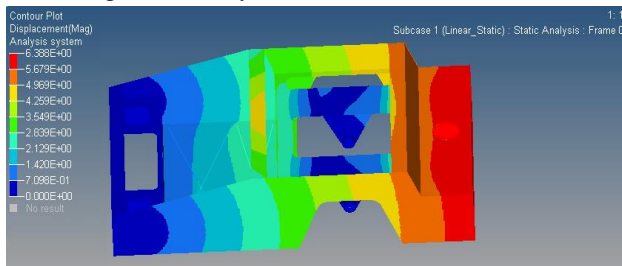
Thông qua khảo sát điều kiện làm việc thực tế ở các nhà máy sản xuất và lắp ráp ô tô ở Việt Nam, nhóm tác giả đã tính toán thiết kế khung vỏ dạng hộp. Ưu điểm của kết cấu dạng hộp là có khối lượng tự trọng lớn để tăng được hệ số bám cho xe. Vì kết cấu dạng hộp được ghép từ các tấm thép lại với nhau. Cùng một kích thước cơ sở DxRxC thì kết cấu hộp cho khối lượng tự trọng lớn hơn kết cấu khung thông thường. Từ đó tận dụng tối đa lực bám của xe, với kích thước nhỏ nhưng xe điện có tải trọng lớn.

Trước khi đi vào chế tạo mô hình thực tế, nhóm nghiên cứu đã tiến hành xây dựng mô hình 3D của xe thông qua phần mềm Catia V5R21. Kết quả mô phỏng thể hiện ở Hình 2.



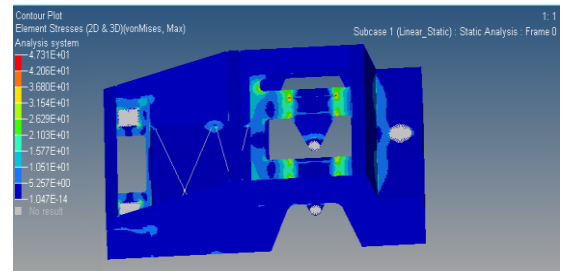
Hình 2. Khung xe thiết kế 3D

Sau khi đã thiết kế được mô hình 3D, nhóm tác giả đã tiếp tục tính bền ở các điều kiện hoạt động khác nhau của xe [1-3]. Và kết quả tính và kiểm tra cho thấy xe chịu chuyển vị lớn nhất là 6,388 mm. Ngoài ra, chuyển vị của mảng đuôi xe có chuyển vị tương đối lớn khoảng 3 mm – 7 mm. Chuyển vị lớn nhất nằm ở vị trí vùng đuôi xe bên trái. Mảng đầu có chuyển vị nhỏ từ 0 mm – 2,129 mm.



Hình 3. Kết quả chuyển vị của khung xe chịu lực phanh khi di chuyển theo chiều tiến

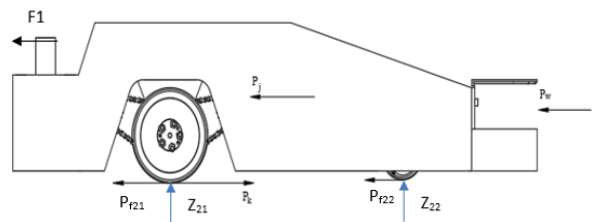
Trường hợp này xe có ứng suất lớn nhất là 47,31 MPa tập trung ở phần giữa trên trục gá bánh xe và động cơ. Trong trường hợp này ứng suất cho phép lấy theo giới hạn bền chảy ($[\sigma]_{ch}$). Khung xe sử dụng thép Q345 có $[\sigma]_{ch} = 345$ MPa. So sánh điều kiện ta thấy khung xe vẫn đảm bảo độ bền.



Hình 4. Kết quả ứng suất của khung xe chịu lực phanh khi di chuyển theo chiều tiến (MPa)

2.2.2. Tính chọn động cơ và bộ truyền chuyển động

Thông qua phân tích về các điều kiện hoạt động, xe điện đã được trang bị hai động cơ điện một chiều. Động cơ có đi kèm bộ giảm tốc để đảm bảo moment yêu cầu tại bánh xe và đảm bảo được tốc độ hoạt động. Công suất động cơ phụ thuộc vào lực kéo của xe khi khởi động. Các lực tác dụng lên xe khi khởi động được thể hiện ở Hình 5.



Hình 5. Các lực tác dụng lên xe khi khởi động

Phương trình các lực tác dụng lên xe:

$$P_{kd} \geq P_{f21} + P_{f22} + P_i + P_w + P_j + F_1$$

Trong đó: P_k : Lực kéo ở bánh xe chủ động [N]

P_{f22} : Lực cản lăn ở bánh trước [N]

P_{f21} : Lực cản lăn ở bánh sau xe [N]

P_i : Lực cản lên dốc [N]

P_w : Lực cản không khí [N]

P_j : Lực quán tính của xe khi khởi động [N]

F_1 : Lực kéo xe hàng [N]

Sau khi nghiên cứu tính toán động học, động lực học của xe [4] trong điều kiện làm việc tại nhà máy, nhóm tác giả đã chọn được động cơ điện DC0.54-126 xuất xứ từ Trung Quốc. Thông số động cơ được mô tả trong Bảng 2.

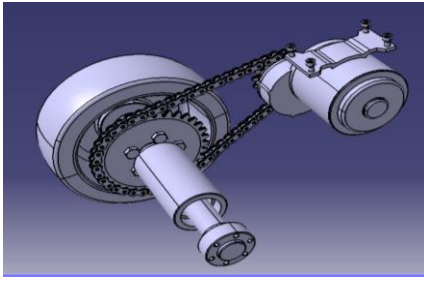


Hình 6. Động cơ điện DC0.54-126

Bảng 2. Thông số động cơ

Công suất động cơ	2x500
Số vòng quay	2500 vòng/phút
Cường độ dòng điện tối đa	26,7 A
Hiệu điện thế	24 V
Tỷ số truyền	15

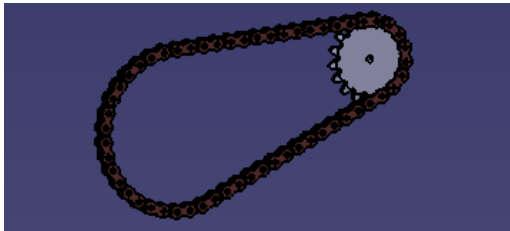
Sơ đồ hệ thống truyền lực từ động cơ điện đến bánh xe chủ động được thể hiện ở Hình 7.



Hình 7. Sơ đồ hệ thống truyền lực

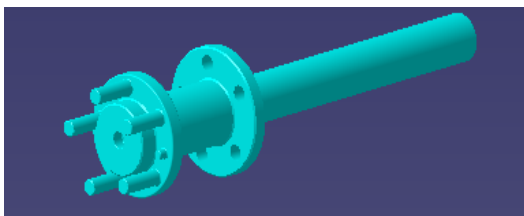
Để giảm tốc độ truyền động từ động cơ đến bánh xe và tăng momen kéo cho xe thì xe được trang bị thêm một bộ truyền xích.

Yêu cầu bộ truyền xích phải nhỏ gọn, bán kính bánh xích lớn không được lớn hơn bán kính của bánh xe chủ động để đảm bảo xe hoạt động ổn định. Bên cạnh đó thì bánh phải đủ bền để chịu được mômen truyền qua bánh xích. Sau khi tính toán thiết kế [5], nhóm tác giả đã chọn được bộ truyền xích được mô tả như Hình 8.



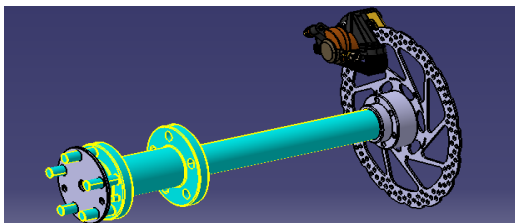
Hình 8. Bộ truyền xích

Để đảm bảo độ cứng vững để lắp bánh lớn của bộ truyền xích cũng như lắp các chi tiết như lốp, phanh thì trục bánh xe cũng là một chi tiết quan trọng. Trục có nhiệm vụ là truyền chuyển động từ động cơ đến bánh xe qua bộ truyền xích. Vì kết cấu xe dùng hai động cơ nên sẽ có hai trục riêng biệt. Kết cấu trục mô tả ở Hình 9.



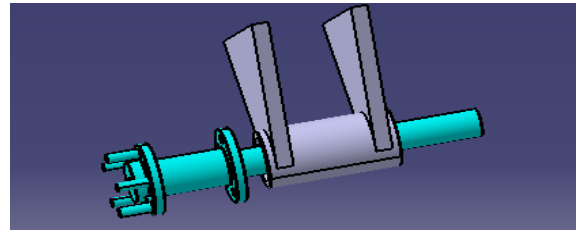
Hình 9. Trục bánh xe

Xe kéo hàng với tải trọng hàng lớn nên cần hệ thống phanh. Khi gặp vật cản hoặc đến trạm dừng quy định, bộ điều khiển sẽ điều khiển động cơ bước kéo dây cáp phanh, khi đó hai má phanh của ngàm phanh sẽ ép sát đĩa phanh làm xe dừng lại. Sau khi tính toán [6], [7], kết cấu phanh lắp lên trục được thể hiện ở Hình 10.



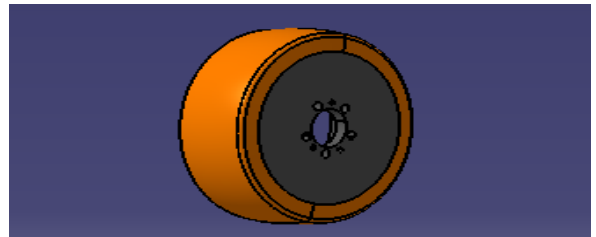
Hình 10. Hệ thống phanh đĩa

Trên mỗi trục chính động cơ ta sử dụng hai ổ đỡ. Nhiệm vụ của ổ đỡ là đỡ trục, đảm bảo hệ dẫn động được cứng vững. Đồng thời đảm bảo sự liên kết giữa trục và thân xe. Kết cấu của ổ đỡ lắp lên trục được thể hiện như Hình 11.



Hình 11. Gối đỡ trục

Với điều kiện chịu tải trọng lớn, vừa dẫn động vừa dẫn hướng nên phải chắc chắn, đủ độ bền. Lốp của bánh được đóng bằng cao su nhằm đem lại độ bám đường tốt nhất. Kết cấu của lốp được mô tả ở Hình 12.



Hình 12. Bánh xe chủ động

Để xe có thể chuyển hướng một cách linh hoạt thì bánh trước của xe được thiết kế sử dụng bánh vô hướng, có thể xoay theo bất cứ góc độ nào. Bánh xe vô hướng được mô tả như Hình 13.



Hình 13. Bánh xe vô hướng

2.3. Thiết kế hệ thống điều khiển

2.3.1. Sơ đồ khối điều khiển

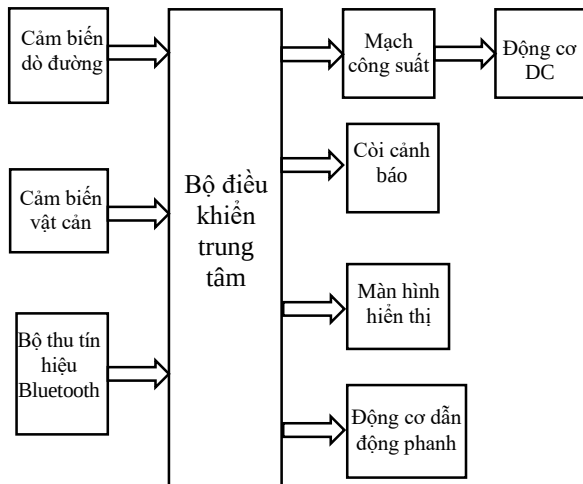
Xe được thiết kế dựa trên nguyên lý bộ điều khiển trung tâm nhận tín hiệu vào từ các cảm biến dò đường, cảm biến vật cản và bộ thu tín hiệu Bluetooth. Tùy theo chế độ làm việc mà bộ điều khiển gửi các tín hiệu làm việc đến các bộ phận chấp hành. Sơ đồ khối của toàn xe được mô tả như Hình 14.

Ở chế độ tự động, bộ xử lý trung tâm nhận tín hiệu từ các cảm biến dò đường để biết được độ lệch của xe so với đường line, sau đó gửi tín hiệu điều khiển tới hai mạch công suất để điều chỉnh tốc độ động cơ sao cho xe đi theo vạch line đã được thiết kế sẵn theo yêu cầu.

Việc điều chỉnh để xe trở về với đường line khi có dấu hiệu lệch được thực hiện thông qua sự thay đổi tốc độ động cơ của hai bên trái và phải sao cho xe rẽ ngược lại với hướng lệch của hàng cảm biến dò đường cho tới khi độ lệch là bằng 0.

Tương tự như chế độ chạy tự động, bộ xử lý trung tâm nhận tín hiệu từ Module Bluetooth HC-05 được kết nối với các thiết bị cầm tay như điện thoại thông minh. Xe được điều khiển theo ý muốn của người vận hành một cách dễ dàng.

Ở cả hai chế độ, cảm biến vật cản luôn hoạt động. Nếu gặp vật cản thì cảm biến sẽ gửi tín hiệu về bộ điều khiển trung tâm. Lúc đó, mạch điều khiển trung tâm sẽ điều khiển dừng động cơ, và điều khiển hệ thống phanh hoạt động. Đồng thời còi cảnh báo sẽ vang lên cảnh báo cho người vận hành biết để khắc phục sự cố. Sau khi khắc phục sự cố thì xe điện sẽ tiếp tục hoạt động và tắt còi.



Hình 14. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển

2.3.2. Chiến thuật điều khiển

Việc điều khiển xe tiến, lùi, quay phải, quay trái dựa vào việc thay đổi tốc độ, chiều quay của hai động cơ dẫn động hai bánh xe nhờ vào sự thay đổi của giá trị và chiều của điện áp được cấp vào hai động cơ. Chương trình điều khiển của xe chạy theo thuật toán điều khiển được mô tả tại Hình 15.

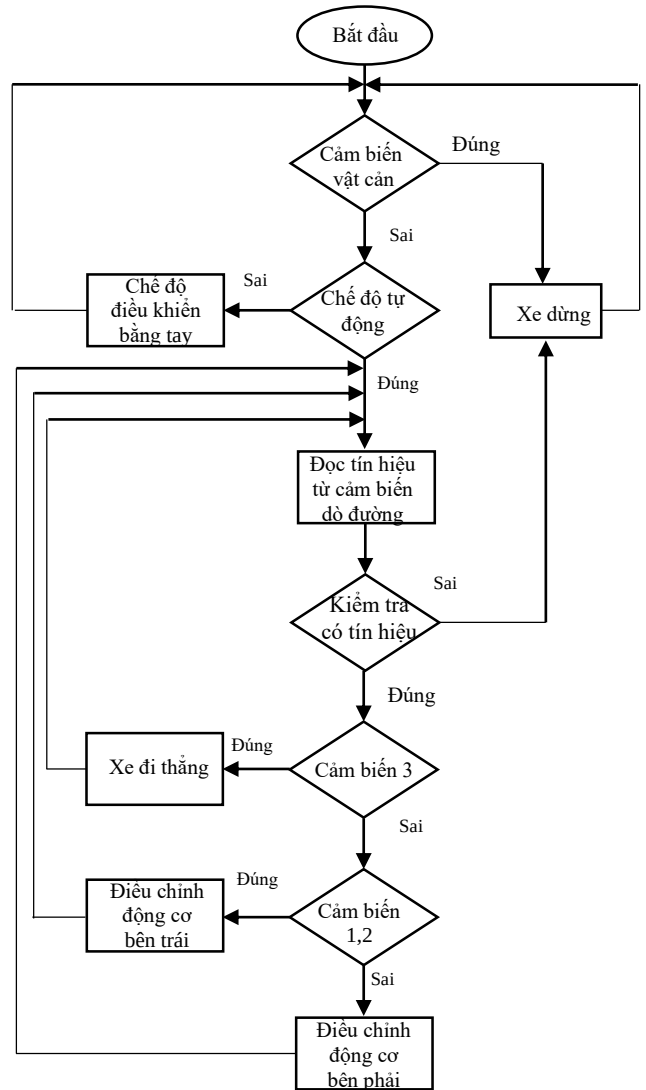
Tốc độ góc của mỗi bánh xe:

$$\text{Bánh xe phía bên trái: } \omega_r = \omega_s + \Delta\omega/2$$

$$\text{Bánh xe phía bên phải: } \omega_{ph} = \omega_s - \Delta\omega/2$$

Khi xe chạy thẳng, tốc độ góc bánh xe hai phía sẽ bằng nhau, lúc này sẽ không có độ chênh lệch về tốc độ góc ($\Delta\omega$) giữa hai bánh xe. Khi xe thực hiện quay trái hoặc quay phải thì tốc độ góc của hai bánh xe sẽ chênh lệch nhau một lượng là $\Delta\omega$, sự chênh lệch này phụ thuộc vào cảm biến dò đường.

Lúc khởi động xe, cảm biến vật cản sẽ hoạt động. Nếu như phía trước xe có vật cản thì cảm biến sẽ trả tín hiệu về điều khiển xe dừng lại. Nếu không có vật cản xe sẽ kiểm tra xem đang ở chế độ điều khiển bằng tay hay là chế độ tự động. Nếu xe đang ở chế độ điều khiển bằng tay thì cảm biến dò đường sẽ tắt. Xe sẽ hoạt động theo tín hiệu gửi về từ thiết bị điều khiển cầm tay. Nếu ở chế độ tự động, thì các cảm biến dò đường hoạt động, điều khiển xe chạy theo đường vạch sẵn. Nếu bật chế độ tự động mà xe không nằm trong đường từ dẫn hướng, xe sẽ dừng lại và báo động cho người điều khiển biết.



Hình 15. Lưu đồ thuật toán điều khiển

2.4. Thiết kế mạch điện điều khiển

2.4.1. Bộ điều khiển trung tâm

Bộ điều khiển trung tâm sử dụng vi điều khiển Arduino Mega 2560. Việc điều khiển Arduino Mega 2560 rất đơn giản chỉ việc kết nối nó với máy tính bằng cable USB. Mạch có bộ nhớ trong là 256 KB đủ để lưu các chương trình điều khiển cần thiết của xe. Tốc độ xử lý lên tới 16 MHz, đáp ứng đủ yêu cầu về tốc độ xử lý của xe. Với những ưu điểm đó thì Arduino Mega 2560 đã được chọn để làm bộ xử lý trung tâm của xe. Các thông số của mạch Arduino Mega 2560 [8] được thể hiện ở Bảng 3.



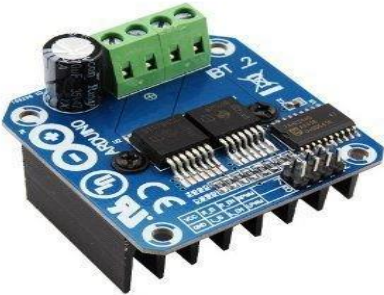
Hình 16. Vi điều khiển Arduino Mega 2560

Bảng 3. Thông số kỹ thuật của Board mạch điều khiển

Chip xử lý	ATmega2560
Điện áp hoạt động	5V
Điện áp vào (đề nghị)	7V-15V
Điện áp vào (giới hạn)	6V-20V
Cường độ dòng điện trên mỗi pin	50 mA
Cường độ dòng điện trên mỗi I/O pin	20 mA
Flash Memory	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

Để điều khiển được động cơ các điều kiện khác nhau thì cần phải sử dụng mạch công suất. Vì tín hiệu ra từ mạch công suất chỉ từ 0-5 V, nhưng tín hiệu để điều khiển động cơ lại yêu cầu 24 V. Vì vậy, cần sử dụng mạch công suất để điều khiển động cơ.

Mạch công suất sử dụng Driver điều khiển động cơ BTS 7960. Mạch cầu H - BTS7960 43A dễ dàng giao tiếp với vi điều khiển với driver tích hợp sẵn trong IC, tạo dead time, chống quá nhiệt, quá áp, quá dòng, sụt áp và ngắn mạch. Mạch có tần số điều khiển tối đa là 25 KHz nên đáp ứng đủ yêu cầu điều khiển linh hoạt của xe. Các thông số của mạch được thể hiện ở Bảng 4.



Hình 17. Driver BTS 7960

Bảng 4. Thông số kỹ thuật mạch công suất

Nguồn	6 ~ 27 V
Dòng điện tải mạch	43A (Tải trở) hoặc 15A (Tải cảm)
Tín hiệu logic điều khiển	3,3 ~ 5 V
Tần số điều khiển tối đa	25 KHz

3. Kết quả

Sau khi nghiên cứu, thiết kế thì nhóm tác giả đã tiến hành chế tạo mô hình thực tế. Xe điện đã được thử nghiệm

vận hành ổn định và an toàn. Có thể dễ dàng thay đổi giữa hai chế độ tự động và chế độ kết hợp người điều khiển. Kết quả mô hình được thể hiện như trên Hình 18.



Hình 18. Xe mô hình chạy thử nghiệm

4. Kết luận và hướng phát triển

Bài báo này đã nghiên cứu thiết kế xe điện tự hành vận hành linh hoạt, ổn định và an toàn trong môi trường công nghiệp. Kết quả nghiên cứu này góp phần tối ưu hóa bài toán vận chuyển trong nhà máy, nâng cao trình độ tự động hóa trong dây chuyền sản xuất, giảm thiểu chi phí về nhân công.

Tuy nhiên, để tối ưu hơn về bài toán vận hành thì đề tài cần phát triển được mạng lưới sử dụng nhiều xe điện tự hành. Qua đó giảm tối đa lãng phí về thời gian chờ. Đặc biệt áp dụng trí tuệ nhân tạo sẽ là một bước đột phá quan trọng để giảm thiểu tối đa nhân công sử dụng trong quá trình vận chuyển.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng trong đề tài có mã số B2019-DN02-60.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] PGS.TS. Nguyễn Nhật Lệ, *Tối ưu hóa và ứng dụng*, Nhà xuất bản Hà Nội, 2001.

[2] GS. Phan Kỳ Phùng, Ths. Thái Hoàng Phong, *Giáo trình sức bền vật liệu*, Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng, 2009.

[3] Nguyễn Hoài Sơn (Chủ biên) – Lê Thanh Phong – Mai Đức Đãi. *Giáo trình Ứng dụng phương pháp phân tử hữu hạn trong tính toán kết cấu*. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2008.

[4] TS. Phan Minh Đức, *Lý thuyết ô tô*, Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng, 2016.

[5] Nguyễn Trọng Hiệp. *Thiết kế chi tiết máy*. Nhà xuất bản Giáo dục.

[6] TS Nguyễn Hoàng Việt, *Thiết kế các hệ thống ô tô* – Đại học Bách khoa Đà Nẵng, 2017.

[7] Lê Văn Tuy, *Tính toán thiết kế - kiểm nghiệm hệ thống phanh ô tô*, Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng.

[8] Datasheet of Arduino Mega 2560.

(BBT nhận bài: 09/10/2019, hoàn tất thủ tục phản biện: 01/11/2019)