

# ỨNG DỤNG ESP32 ĐỂ ĐIỀU KHIỂN TỪ XA MÁY CẮT CỎ TRONG ĐIỀU KIỆN ĐA DẠNG ĐỊA HÌNH

Trần Đức Quý<sup>1,\*</sup>, Bùi Duy Khuông<sup>1</sup>  
Trần Ngân Hà<sup>1</sup>, Trần Anh Khánh Ngọc<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh  
\*Email: [tranducquy@qui.edu.vn](mailto:tranducquy@qui.edu.vn)

## TÓM TẮT

Trong bối cảnh tự động hóa và ứng dụng IoT ngày càng phát triển, việc thiết kế các thiết bị cơ điện tử thông minh phục vụ sản xuất và đời sống là xu hướng tất yếu. Bài báo này trình bày quá trình nghiên cứu, thiết kế và lắp đặt bộ điều khiển từ xa cho máy cắt cỏ sử dụng vi điều khiển ESP32. Hệ thống cho phép điều khiển không dây, đảm bảo khả năng vận hành ổn định trong điều kiện địa hình đa dạng như mặt phẳng, dốc nghiêng và địa hình gồ ghề. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động tin cậy, độ trễ thấp, khả năng thích nghi tốt với điều kiện làm việc thực tế.

**Từ khóa:** ESP32, điều khiển từ xa, máy cắt cỏ, động cơ một chiều, địa hình phức tạp.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Máy cắt cỏ là thiết bị được sử dụng phổ biến trong đời sống hàng ngày. Tuy nhiên, việc vận hành thủ công tiềm ẩn nhiều rủi ro về an toàn lao động, đặc biệt trong điều kiện địa hình phức tạp hoặc môi trường làm việc độc hại. Do đó, nghiên cứu và phát triển hệ thống điều khiển từ xa cho máy cắt cỏ là cần thiết nhằm nâng cao mức độ an toàn, giảm sức lao động và tăng hiệu quả làm việc.

Ở lĩnh vực kỹ thuật chế tạo, nghiên cứu của nhóm tác giả Owusu, D, K., Otchere, P, K., và Opare, W., đã công bố thiết kế và chế tạo một nguyên mẫu máy cắt cỏ điều khiển từ xa sử dụng công nghệ đa tần số hai tông màu để điều khiển hướng cắt cỏ [1]. Nghiên cứu này được thiết kế sử dụng Arduino Uno, dựa trên vi điều khiển ATmega328P, động cơ bước, rơle 700-HB đóng vai trò điều khiển động cơ, mạch tích hợp (IC) module DTMF sim8001 và điện thoại di động nhằm giải quyết vấn đề mệt mỏi, tiếng ồn và nguy cơ tai nạn của người vận hành. Nghiên cứu này chỉ ra rằng với cấu hình đơn giản, chi phí thấp có thể chế tạo hệ thống máy cắt cỏ điều khiển từ xa hiệu quả trong môi trường quy mô nhỏ.

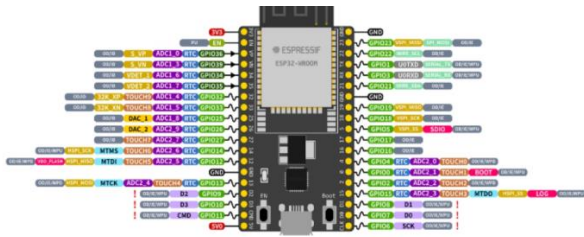
Tại tài liệu [2] do Nhà xuất bản Viện Hàn lâm Khoa học, Kỹ thuật và Y học Quốc gia Hoa Kỳ công bố năm 2023 cho thấy các máy cắt cỏ điều

khiển từ xa mang lại nhiều lợi ích thiết thực, có khả năng làm việc hiệu quả cao đối với địa hình bằng và độ nghiêng vừa phải, việc triển khai ở khu vực có địa hình dốc lớn, nhiều vật cản vẫn gặp thách thức về độ tin cậy và chi phí; với máy cắt cỏ sử dụng nguồn điện một chiều có thời lượng pin giới hạn, khả năng ứng dụng ở địa hình cực kỳ phức tạp còn kém.

Thực tế cho thấy, việc sử dụng máy cắt cỏ điều khiển từ xa và tự hành hiện đại mang lại hiệu suất cao, giảm thiểu sức lao động của con người, tuy nhiên chi phí đầu tư và chi phí vận hành là một trở ngại lớn khiến các loại máy này chưa thật sự phổ biến. Vấn đề thực tiễn đặt ra: cần một giải pháp điều khiển từ xa cho máy cắt cỏ vừa an toàn, cơ động, phù hợp với nhiều dạng địa hình, chi phí hợp lý và dễ áp dụng trong thực tế. Xuất phát từ nhu cầu trên nhóm tác giả tiến hành “Nghiên cứu ứng dụng vi điều khiển ESP32 để điều khiển từ xa cho máy cắt cỏ trong điều kiện vận hành đa dạng về địa hình” nhằm giải phóng được sức lao động và đem lại những lợi ích kinh tế và môi trường.

Ưu điểm nổi bật của ESP32 là vi điều khiển tích hợp Wi-Fi và Bluetooth, có hiệu năng cao, tiêu thụ năng lượng thấp và giá thành phù hợp. Việc sử dụng ESP32 làm bộ điều khiển trung tâm cho hệ thống điều khiển từ xa máy cắt cỏ cho

phép triển khai các giải pháp điều khiển linh hoạt, mở rộng dễ dàng và phù hợp với xu hướng chuyển đổi số trong lĩnh vực cơ điện - tự động hóa [3].



Hình 1.1. Sơ đồ cấu trúc của ESP32 [3]

## 2. TỔNG QUAN HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TỪ XA

### 2.1. Yêu cầu thiết kế

Hệ thống điều khiển từ xa máy cắt cỏ cần đáp ứng các yêu cầu sau:

Điều khiển chuyển động tiến/lùi, rẽ trái/rẽ phải và bật/tắt cơ cấu cắt cỏ từ xa; hoạt động ổn định trong điều kiện địa hình đa dạng (mặt phẳng, dốc, gồ ghề); đảm bảo an toàn cho người vận hành và thiết bị; thiết bị điều khiển dễ sử dụng; khả năng mở rộng, tích hợp cảm biến trong tương lai.

### 2.2. Cấu trúc tổng thể

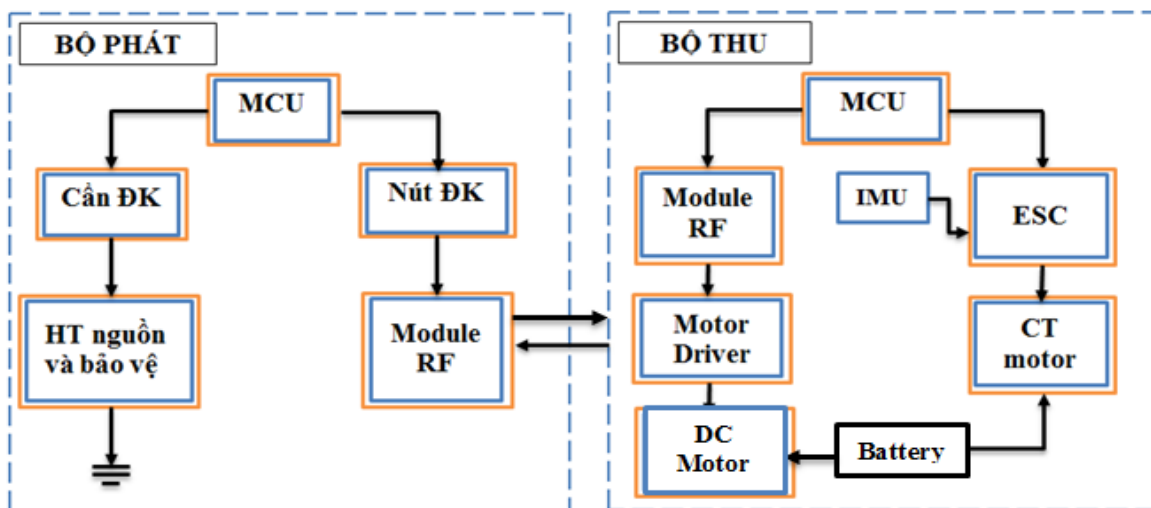
Hệ thống bao gồm hai phần chính: Bộ phát có nhiệm vụ gửi tín hiệu điều khiển và Bộ thu có

nhiệm vụ nhận tín hiệu, xử lý và điều khiển các cơ cấu chấp hành.

Trong đó: Bộ phát gồm: MCU: Vi điều khiển trung tâm; các cần điều khiển (Cần ĐK) động cơ di chuyển cho chuyển động tiến/lùi, rẽ trái/rẽ phải; nút điều khiển lưỡi cắt (Nút ĐK), khởi động/tắt máy, dừng khẩn cấp; module truyền sóng RF. Bộ thu gồm: MCU: Vi điều khiển chính sử dụng ESP32; module RF nhận dữ liệu; driver điều khiển động cơ di chuyển; bộ điều tốc ESC điều khiển động cơ máy cắt thông qua cơ cấu ga; động cơ điều chỉnh hệ thống cơ khí để điều chỉnh chiều cao lưỡi cắt phù hợp với các loại địa hình; động cơ di chuyển; động cơ máy cắt cỏ sử dụng nhiên liệu hai thì; hệ thống nguồn cấp bằng ắc quy 12V DC; Áo tô mát bảo vệ ngăn mạch nguồn điện; cảm biến khoảng cách IMU.

### Nguyên lý hoạt động tổng quát:

Người vận hành sử dụng cần điều khiển để gửi lệnh di chuyển (tiền, lùi, rẽ trái, rẽ phải) hoặc bật/tắt, điều chỉnh tốc độ động cơ. Bộ phát RF mã hóa lệnh và truyền qua sóng 2,4 GHz đến bộ thu. Bộ thu RF giải mã và gửi tín hiệu đến vi điều khiển trung tâm để xử lý dữ liệu và gửi tín hiệu điều khiển các động cơ di chuyển.



Hình 2.1. Sơ đồ khối tổng thể hệ thống điều khiển từ xa

### 2.3. Lựa chọn phần tử phần cứng

#### 2.3.1. Vi điều khiển trung tâm ESP32

Về cấu trúc phần cứng, ESP32 sử dụng bộ xử lý lõi kép Tensilica Xtensa LX6 với tần số hoạt động lên tới 240 MHz. Một ưu điểm nổi bật của

ESP32 là khả năng điều khiển động cơ linh hoạt nhờ hệ thống PWM phần cứng có độ phân giải cao và khả năng đáp ứng nhanh. Điều này đặc biệt phù hợp với các ứng dụng điều khiển thiết bị cơ điện tử di động như robot, xe tự hành hoặc

máy cất cỏ điều khiển từ xa, nơi yêu cầu điều chỉnh tốc độ, hướng chuyển động và phản hồi tức thời trong điều kiện làm việc thay đổi liên tục. Bên cạnh đó, ESP32 hỗ trợ nhiều chế độ tiết kiệm năng lượng, giúp giảm tiêu thụ điện năng khi hệ thống hoạt động trong thời gian dài. Với hệ sinh thái phát triển phong phú, hỗ trợ lập trình bằng Arduino IDE, ESP-IDF và các thư viện mã nguồn mở, ESP32 tạo điều kiện thuận lợi cho việc nghiên cứu, phát triển và mở rộng hệ thống.

Nhờ các đặc tính trên, trong nghiên cứu này nhóm tác giả lựa chọn ESP32 làm bộ điều khiển trung tâm trong hệ thống điều khiển từ xa máy cất cỏ, nhằm đảm bảo khả năng vận hành ổn định, linh hoạt và thích nghi tốt với điều kiện địa hình đa dạng [3].

2.3.2. Module truyền nhận sóng RF

Sử dụng NRF24L01+PA+LNA tích hợp trong tay cầm điều khiển và Microzone RX MC6RE thu tín hiệu. NRF24L01+PA+LNA có công suất khuếch đại cao, phạm vi hoạt động đến 100 m. MC6RE là dòng bộ thu tín hiệu điều khiển từ xa 2,4 GHz, được thiết kế nhỏ gọn, độ nhạy cao, khả năng chống nhiễu mạnh và truyền tín hiệu ổn định. Module truyền nhận sóng RF có tần số 2,4 GHz FHSS chống nhiễu, ổn định trong môi trường nhiễu sóng; 6 kênh điều khiển PWM, hỗ trợ SBUS output/feedback voltage, Dual Antenna tăng khoảng cách thu và chống mất tín hiệu; khả năng phản hồi tín hiệu nhanh, phục hồi ổn định khi có nhiễu; hỗ trợ tính năng Fail-safe tự ngắt khi mất kết nối.



Hình 2.2. Hình ảnh tay cầm điều khiển từ xa

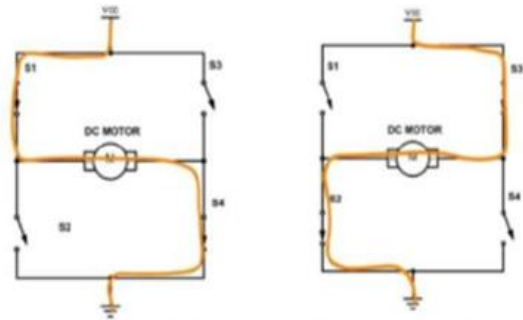
Trong đó: a. Phím điều khiển di chuyển tiến, lùi, trái, phải; b. Phím điều khiển tốc độ động cơ; c. Cần điều khiển nâng hạ chiều cao lưỡi cắt; d,

e, f. Phím dự phòng để mở rộng chức năng.

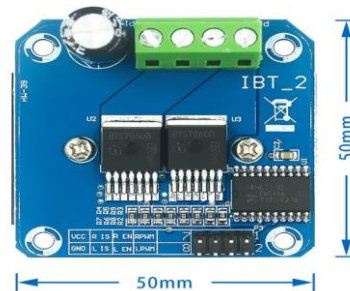
2.3.3. Driver điều khiển động cơ di chuyển

Driver điều khiển động cơ di chuyển cần đảm bảo dòng tối đa của module đủ lớn, điện áp cấp phù hợp với điện áp định mức của động cơ, có khả năng bảo vệ quá dòng, quá áp, quá nhiệt và chống ngược. Vì vậy, module BTS7960 là lựa chọn phù hợp.

Module BTS7960 cấu tạo dạng mạch cầu H có hiệu suất cao, khả năng tản nhiệt tốt, tích hợp đầy đủ cho các ứng dụng truyền động động cơ dòng cao. BTS7960 có hai Mosfet, gồm một Mosfet bên cao kênh p và một Mosfet bên thấp kênh n. Việc giao tiếp với vi điều khiển được thực hiện dễ dàng nhờ vi mạch điều khiển tích hợp có các đầu vào mức logic, bảo vệ chống quá nhiệt, quá áp, quá dòng và ngắn mạch.



Hình 2.3. Hướng đi của dòng điện mạch cầu H mắc theo chiều thuận và chiều nghịch.



Hình 2.4. Module BTS7960

2.3.4. ESC điều khiển tốc độ động cơ di chuyển

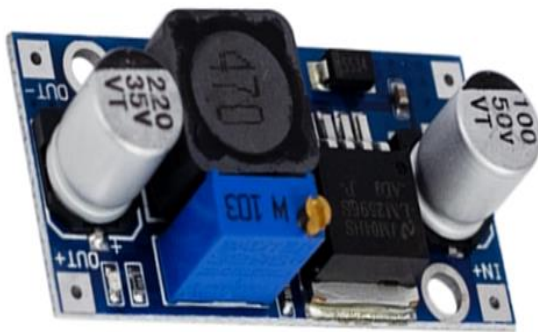
ESC (Electronic Speed Controller) là bộ điều khiển được sử dụng để điều chỉnh tốc độ và chiều quay của động cơ di chuyển. Trong nghiên cứu này, ESC đóng vai trò trung gian giữa bộ điều khiển trung tâm ESP32 và động cơ di chuyển, đảm bảo quá trình điều khiển diễn ra chính xác, ổn định và an toàn.

ESC nhận tín hiệu điều khiển dạng xung từ

ESP32. Thông qua việc thay đổi độ rộng xung PWM, ESC sẽ điều chỉnh điện áp hiệu dụng cấp cho động cơ để điều chỉnh tốc độ quay động cơ.

2.3.5. Bộ điều khiển tốc độ động cơ máy cắt cỏ

Máy cắt cỏ được sử dụng là loại sử dụng nhiên liệu, điều chỉnh tốc độ thông qua cơ cấu ga. Để thực hiện điều chỉnh tốc độ động cơ máy cắt nhóm tác giả nghiên cứu sử dụng động cơ Servo thông qua kết cấu cơ khí để điều chỉnh ga tốc độ của máy cắt cỏ. Nguồn điện Ắcquy 12 V sau được đưa qua mạch LM2596 để hạ áp xuống 5V, dùng cho các thiết bị chính như vi điều khiển ESP32 và động cơ Servo.



Hình 2.5. Module LM2596

2.3.6. Điều khiển nâng hạ lưỡi cắt

Sử dụng bộ chấp hành tuyến tính để điều khiển nâng hạ chiều cao lưỡi cắt. Bộ chấp hành tuyến tính sử dụng trên mô hình máy cắt cỏ là một cơ cấu truyền động điện - cơ, có khả năng tạo ra chuyển động tịnh tiến để nâng hạ hoặc điều chỉnh vị trí các bộ phận cơ khí. Thiết bị gồm các thành phần chính sau: Động cơ giảm tốc 12 VDC; cơ cấu trục vít - đai ốc: Biến chuyển động quay thành chuyển động thẳng; ống dẫn hướng và thanh truyền lực; công tắc hành trình; khớp nối cơ khí: Giúp bộ chấp hành tuyến tính liên kết với khung máy cắt cỏ và càn nâng, cho phép xoay một góc nhỏ để thích ứng biến dạng khi chuyển động.

Trong mô hình máy cắt cỏ, bộ chấp hành tuyến tính đảm nhận các nhiệm vụ: Cho phép người vận hành điều chỉnh độ cao cắt từ xa, phù hợp với loại cỏ hoặc điều kiện địa hình. Cơ cấu vít me tạo ra trạng thái tự khóa dẫn đến chiều cao dao cắt không bị thay đổi do rung, lực cản hoặc va đập; đảm bảo đường cắt đồng đều.

2.3.7. Lựa chọn khối cảm biến

Sử dụng cảm biến siêu âm HC-SR04P để phát hiện vật cản trong khoảng 3-7 cm, đồng thời hoạt động ổn định ở mức điện áp 3,3 V nên có thể kết nối trực tiếp với vi điều khiển ESP32 mà không cần mạch hạ áp bổ sung. Nhờ đó, HC-SR04P vừa đảm bảo độ chính xác cần thiết, vừa đơn giản hóa thiết kế phần cứng, là lựa chọn tối ưu cho hệ thống robot cắt cỏ.



Hình 2.6. Cảm biến HC-SR04P

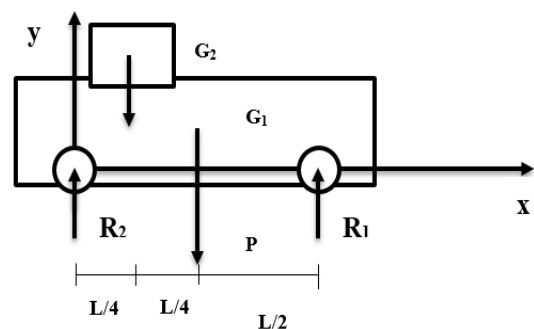
2.3.8. Lựa chọn động cơ di chuyển

Máy cắt cỏ sử dụng 4 động cơ DC độc lập điều khiển, cho phép quay tại chỗ. Cấu hình này giúp tăng lực kéo, phù hợp với địa hình dốc hoặc gồ ghề, đồng thời giảm trượt bánh.

Tính toán lựa chọn động cơ di chuyển:

Yêu cầu đặt ra là xe có thể chạy với vận tốc  $V_{max} = 0,4m/s$ , thời gian tăng tốc từ 0 m/s vận tốc cực đại là 1 s, kết cấu xe nhỏ gọn, chắc chắn.

Thiết kế toàn bộ xe có khối lượng  $m1 = 15$  kg, các linh kiện sử dụng có khối lượng  $m2 = 5$  kg, khối lượng bánh xe  $m = 0,25$  kg.



Hình 2.7. Hệ tọa độ trên máy cắt cỏ

Chọn đặt hệ thống dẫn động lưỡi cắt cỏ ở vị trí  $x = L/4$ , với L là khoảng cách giữa 2 trục bánh xe,  $G1$  là trọng tâm của xe và  $G2$  là trọng tâm của vật nặng. Hoành độ trọng tâm của hệ:

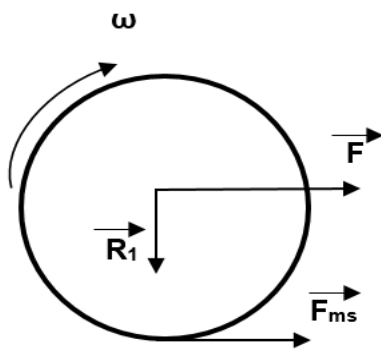
$$x_G = \frac{m1 \cdot x_{G1} + m2 \cdot x_{G2}}{m1 + m2} = \frac{7}{16}L \quad (1)$$

Từ đó, tính ra được lực tác dụng lên mỗi bánh xe:

$$\begin{cases} R_1 + R_2 = P \\ R_1 \cdot (x_{R1} - x_G) = R_2 \cdot (x_G - x_{R2}) \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} R_1 = \frac{7}{16} P = \frac{7}{16} (m_1 + m_2) \cdot 10 = 87,5N \\ R_2 = \frac{9}{16} P = \frac{9}{16} (m_1 + m_2) \cdot 10 = 112,5N \end{cases}$$

Mô hình các lực tác động lên bánh xe được thể hiện trên Hình 2.8.



Hình 2.8. Mô hình lực tác động lên bánh xe [4]

Trong đó:

Vận tốc góc bánh xe:  $\omega = v/R = 3,2 \text{ rad/s}^2$  (3)

Gia tốc của xe là:  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 0,4 \text{ m/s}^2$  (4)

Gia tốc góc bánh xe:  $\gamma = a/R = 3,2 \text{ rad/s}^2$  (5)

R1: Phản lực pháp tuyến tác dụng từ mặt đất lên bánh xe đi qua tâm tiếp xúc; F: Lực kéo tiếp tuyến tác dụng lên bánh xe do mô-men động cơ sinh ra (lực này làm cho bánh xe quay và tạo ra chuyển động tịnh tiến).

F<sub>ms</sub>: Lực ma sát tiếp tuyến giữa bánh xe và mặt đất (đây là lực ma sát tĩnh giữ cho bánh xe lăn mà không bị trượt):

$$F_{ms} = M \cdot a = (m_3 + m) \cdot a = 4,6 \text{ N} \quad (6)$$

(m<sub>3</sub> là khối lượng tải đặt lên bánh xe sau:  $m_3 = R_2/g = 11,25 \text{ kg}$ ; m là khối lượng bánh xe).

Mô-men quán tính bánh xe:

$$J = m \cdot R^2/2 = 0,00195 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (7)$$

Momen tác dụng lên mỗi bánh xe [5]:

$$T = F_{ms} \cdot R + J \cdot \gamma = 0,6 \text{ (Nm)} \quad (8)$$

Công suất động cơ:

$$P = T \cdot \omega = T \cdot v_{max}/R = 1,92 \text{ W} \quad (9)$$

Để đảm bảo khả năng làm việc trong điều kiện

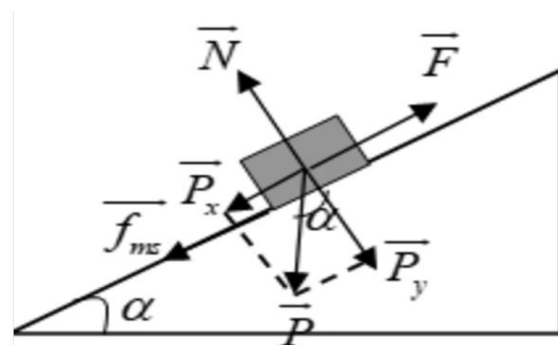
thực tế (địa hình dốc, tổn hao cơ khí...), hệ số dự trữ được chọn từ 10–15 lần. Từ kết quả đã tính toán, chọn 4 động cơ giảm tốc 775, 12V, 25W làm động cơ di chuyển máy cắt cỏ.



Hình 2.9. Động cơ giảm tốc

### 2.3.9. Kiểm tra các điều kiện vận hành theo động lực học

Điều kiện kiểm tra: khối lượng toàn bộ hệ thống M = 21 kg; vận tốc làm việc lớn nhất v<sub>max</sub> = 0,4 m/s; độ dốc địa hình α = 30°; gia tốc trọng trường g = 10 m/s<sup>2</sup>. Hệ số cản lăn của bánh xe trên bề mặt cỏ tự nhiên được chọn f = 0,05 [5]. Tổng công suất bốn động cơ điện: P = 100 W.



Hình 2.10. Các lực tác dụng lên máy cắt khi leo dốc

Kiểm tra công suất yêu cầu khi leo dốc:

Khi máy di chuyển ổn định trên mặt phẳng nghiêng, các lực cản tác dụng theo phương chuyển động gồm lực cản trọng lực và lực cản lăn. Bỏ qua gia tốc tịnh tiến (a = 0), tổng lực kéo yêu cầu được xác định theo biểu thức [6]:

$$F_{yc} = M \cdot g \cdot (\sin\alpha + f \cdot \cos\alpha) \quad (10)$$

Thay các giá trị đã cho:

$$F_{yc} = 21 \cdot 10 \cdot (\sin 30^\circ + 0,05 \cdot \cos 30^\circ) = 114 \text{ (N)}$$

Kết quả cho thấy hệ thống cần tạo ra lực kéo lớn hơn 114 N để duy trì chuyển động ổn định trên dốc 30°.

Công suất cơ học cần thiết để máy leo dốc với vận tốc  $v_{max} = 0,4 \text{ m/s}$  được xác định [4]:

$$P_{yc} = F_{yc} \cdot v_{max} = 114.0,4 = 45,6 \text{ (W)} \quad (11)$$

Công suất yêu cầu đối với động cơ:

$$P_{dc} = \frac{P_{yc}}{\eta} = \frac{45,6}{0,8} = 57,6 \text{ W} \quad (12)$$

Tổng công suất danh định của các động cơ là 100 W đáp ứng tốt yêu cầu về công suất khi vận hành trên địa hình dốc.

*Kiểm tra điều kiện bám chống trượt của bánh xe:*

Điều kiện bám giữa bánh xe và mặt cỏ được kiểm tra thông qua lực bám cực đại [5]:

$$F_{bám} = \mu \cdot M \cdot g \cdot \cos\alpha \quad (13)$$

Với hệ số ma sát bánh-cỏ lấy  $\mu = 0,6$ , ta có:

$$F_{bám} = 0,6 \cdot 21 \cdot 10 \cdot \cos 30^\circ = 109 \text{ (N)}$$

So sánh với lực kéo yêu cầu  $F_{yc} = 114 \text{ N}$ , kết quả cho thấy tại độ dốc  $30^\circ$ , lực kéo cần thiết tiệm cận và vượt lực bám cực đại.

*Kiểm tra điều kiện ổn định chống lật:* Khả năng ổn định hình học của hệ thống khi leo dốc được kiểm tra thông qua điều kiện chống lật quanh mép bánh sau [5]. Với chiều cao trọng tâm của máy là  $h = 0,25 \text{ m}$  và chiều dài cơ sở bánh xe  $L = 0,8 \text{ m}$ , điều kiện chống lật được xác định bởi:  $\tan\alpha \leq \frac{L}{2h}$  (14)

$$\tan\alpha = 0,577; L/2h = 0,8/(2 \cdot 0,25) = 1,6$$

Kết quả cho thấy hệ thống đảm bảo ổn định hình học khi vận hành trên dốc  $30^\circ$ , với điều kiện tốc độ và gia tốc được giới hạn phù hợp.

Nhận xét: Các kết quả kiểm tra cho thấy mô hình động lực học của máy cắt được xây dựng phù hợp và phản ánh đúng các giới hạn vận hành của hệ thống máy cắt cỏ điều khiển từ xa.

Các linh kiện, thiết bị chính được sử dụng trong bộ điều khiển từ xa máy cắt cỏ được thống kê tại Bảng 2.1.

**Bảng 2.1. Các thiết bị, linh kiện được sử dụng trong mô hình**

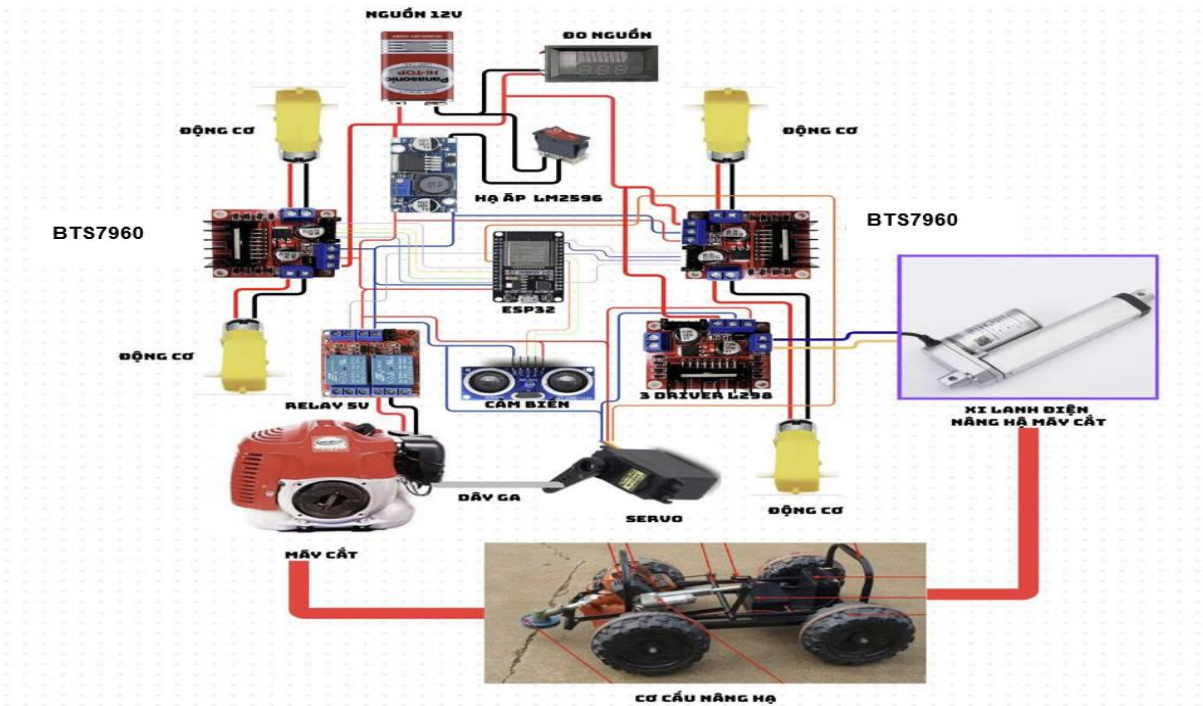
TT	Tên thiết bị, linh kiện	Chức năng
1	ESC điều khiển động cơ BTS7960	Điều khiển tốc độ và chiều quay động cơ
2	Cảm biến HC-SR04P	Phát hiện chướng ngại vật
3	Bánh lốp (04 bánh)	Giúp máy cắt di chuyển cắt cỏ
4	ESP32	Vi điều khiển trung tâm
5	Động cơ giảm tốc (4 động cơ) DC 775, 25W	Cung cấp lực kéo cho bánh xe, đảm bảo tốc độ ổn định và mô men xoắn đủ lớn để máy hoạt động.
6	Động cơ máy cắt sử dụng nhiên liệu G455 2,5HP (1,87kW)	Truyền động cho lưỡi cắt
7	Lưỡi cắt hoặc dây cắt	Thực hiện cắt cỏ trực tiếp, gắn với động cơ cắt
8	Bộ điều khiển tay	Thực hiện điều khiển từ xa
9	Ắc quy	Cấp điện cho hệ thống di chuyển, điều khiển...
10	Module LM2596	Mạch hạ áp để chuyển nguồn từ 12V xuống 5V
11	Nút nhấn On-OFF	Khởi động hoặc dừng hệ thống
12	Bộ điều khiển nâng hạ lưỡi cắt	Phù hợp với địa hình và chiều cao cỏ

### 3. LẮP RÁP VÀ THỬ NGHIỆM

#### 3.1. Sơ đồ nguyên lý mạch điện và lưu đồ thuật toán điều khiển

##### 3.1.1. Sơ đồ kết nối và nguyên lý làm việc

Sơ đồ kết nối mạch điện giữa vi điều khiển, driver và động cơ được thể hiện tại Hình 3.1.

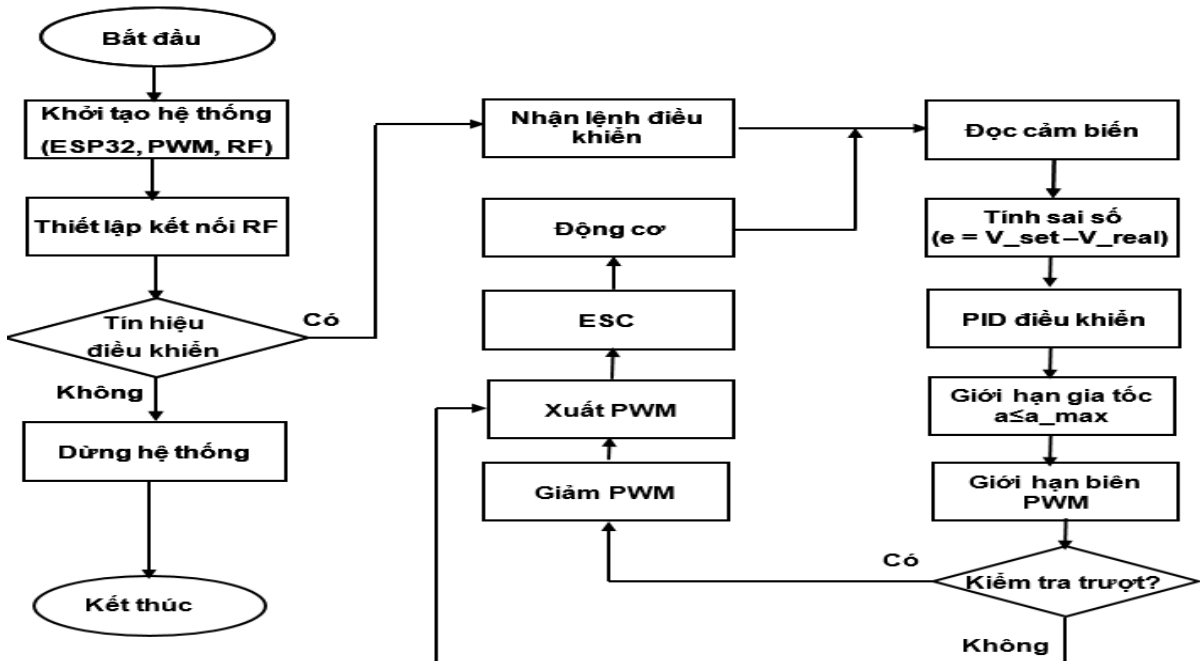


**Hình 3.1. Sơ đồ kết nối mạch điện giữa vi điều khiển và các phần tử của hệ thống**

Nguyên lý làm việc: Máy cắt cổ được cung cấp năng lượng từ ắc quy 12V. Mạch hạ áp LM2596 để tạo ra mức điện áp 5V cấp cho vi điều khiển, động cơ điều chỉnh tốc độ máy cắt. Khi khởi động, bốn động cơ DC giảm tốc nhận tín hiệu điều khiển từ vi điều khiển thông qua mạch cầu BTS7960, truyền động cho bốn bánh xe, cho phép máy di chuyển tiến, lùi hoặc quay vòng. Đồng thời, động cơ Servo thông qua cơ cấu ga để điều chỉnh tốc

độ lưỡi cắt đảm bảo chức năng cắt cỏ. Trên thân máy, cảm biến siêu âm bố trí ở phía trước có nhiệm vụ đo khoảng cách tới vật cản. Khi phát hiện chướng ngại, tín hiệu được gửi về vi điều khiển để đưa ra lệnh dừng hoặc đổi hướng di chuyển, giúp máy vận hành an toàn.

**3.1.2. Lưu đồ thuật toán điều khiển**



**Hình 3.2. Lưu đồ thuật toán điều khiển**

Trong mỗi chu kỳ, hệ thống nhận lệnh điều khiển và đọc dữ liệu cảm biến để xác định vận tốc thực tế. Sai số giữa vận tốc đặt và vận tốc thực được xử lý qua bộ điều khiển PID để tạo tín hiệu điều khiển. Tín hiệu này tiếp tục được giới hạn theo gia tốc và biên độ PWM nhằm đảm bảo vận hành ổn định và bảo vệ phần cứng. Đồng thời, thuật toán kiểm tra trượt được áp dụng để giảm PWM khi phát hiện mất bám. Tín hiệu PWM được gửi tới ESC để điều khiển động cơ. Dữ liệu phản hồi từ cảm biến được cập nhật liên tục, tạo thành hệ điều khiển vòng kín giúp hệ thống hoạt động ổn định.

### 3.2. Lắp ráp thiết bị

#### 3.2.1. Chuẩn bị linh kiện và vật tư

Trước khi tiến hành lắp ráp, các bộ phận chính của máy cắt cỏ điều khiển từ xa được chuẩn bị và kiểm tra chất lượng gồm:

Khung máy: Gia công bằng thép hộp và tấm nhôm nhẹ, đảm bảo độ cứng vững, có gài bảo vệ lưới cắt và khoang chứa pin.

Cụm cắt cỏ: Gồm một động cơ sử dụng nhiên liệu; điều chỉnh tốc độ động cơ qua ESC, lưỡi cắt dùng sợi cước chiều dài 300 mm; cơ cấu điều chỉnh nâng hạ lưỡi cắt dùng bộ chấp hành tuyến tính để điều chỉnh chiều cao lưỡi cắt phù hợp với địa hình và chiều cao cỏ.

Cụm động cơ di chuyển: Bốn động cơ DC có

hộp giảm tốc, mỗi động cơ được gắn trực tiếp vào bánh chủ động.

Hệ thống điều khiển: Vi điều khiển trung tâm ESP32, module truyền nhận sóng RF 2,4 GHz, mạch điều khiển động cơ BTS7960. Bộ điều khiển cầm tay: Tay cầm RF tích hợp nút bật/tắt, công tắc đảo chiều và cần ga điều tốc.

Nguồn cung cấp: Ắc quy, át tô mát có bộ bảo vệ quá dòng, quá nhiệt để bảo vệ sạc, xả.

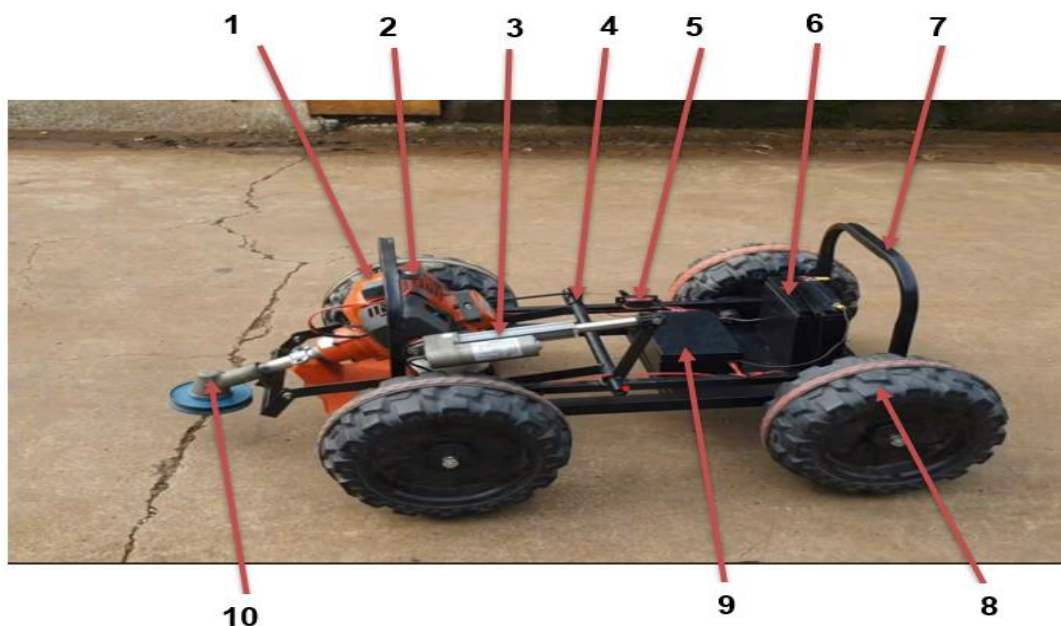
#### 3.2.2. Lắp đặt cơ khí

Khung chính được hàn cố định theo thiết kế, các vị trí lắp động cơ được gia cường bản thép dày 3-4 mm. Cụm bánh xe được bắt bằng bu lông M8, trục truyền động có vòng bi đỡ hai đầu. Lưới cắt gắn dưới khung, có chụp bảo vệ để hạn chế văng cỏ và đất đá.

Hộp điện và khay pin đặt ở khoang trên khung, có nắp che chống bụi và mưa nhẹ. Cấp nguồn và tín hiệu được luồn trong ống gen chống nhiễu, bố trí gọn để tránh quán vào bánh.

#### 3.2.3. Lắp đặt hệ thống điện - điều khiển

Mạch vi điều khiển được đặt trên bo trung tâm, kết nối với: Driver động cơ di chuyển và ESC điều khiển lưỡi cắt. Module RF thu tín hiệu: Nhận lệnh từ tay cầm điều khiển. Hệ thống dây điện đấu nối chắc chắn. Kiểm tra điện áp cấp, đảm bảo các kết nối chính xác trước khi cấp nguồn thử nghiệm.



Hình 3.3. Mô hình máy cắt cỏ

Trong hình 3.3: 1. Động cơ máy cắt; 2. Nút dừng khẩn cấp trên thân máy; 3. Bộ chấp hành tuyến tính điều khiển nâng hạ chiều cao máy cắt; 4. Cơ cấu nâng hạ; 5. Thiết bị điều chỉnh tốc độ động cơ máy cắt cỏ; 6. Ấc quy 12V; 7. Khung máy; 8. Bánh xe di chuyển và động cơ di chuyển; 9. Module điều khiển; 10. Đĩa cắt.

#### 3.2.4. Kiểm tra và hiệu chỉnh

Sau khi lắp ráp, tiến hành kiểm tra không tải: chạy thử các động cơ di chuyển, kiểm tra tín hiệu điều khiển, độ phản hồi joystick. Tiếp theo, kiểm tra có tải: kích hoạt lưỡi cắt ở tốc độ thấp, đo dòng tải và độ rung của khung. Thực hiện cân chỉnh cho động cơ di chuyển để đảm bảo ổn định hướng khi vận hành thẳng Kiểm tra tính năng an toàn: ngắt khẩn cấp, mất tín hiệu điều khiển, dừng máy, kiểm soát quá dòng ESC.

### 3.3. Vận hành thử nghiệm

#### 3.3.1. Mục tiêu thử nghiệm

**Đánh giá độ cơ động của hệ thống khung gầm:** Khả năng di chuyển trên mặt cỏ tự nhiên, cỏ tạp, cỏ lá tre, cỏ tranh; khả năng leo dốc tại các độ dốc 15°, 20°, 25° và 30°.

**Đánh giá hiệu quả làm việc của cơ cấu cắt:** khả năng cắt đồng đều; khả năng cắt các loại cỏ có độ cứng, chiều cao khác nhau; ảnh hưởng khi cắt trên đất ẩm, mặt cỏ dốc.

**Đánh giá độ ổn định của hệ thống điều khiển từ xa:** Khoảng cách điều khiển hiệu quả; độ trễ tín hiệu và tính ổn định của kết nối RF; khả năng điều khiển chính xác khi leo dốc, gặp vật cản.

**Đánh giá mức tiêu thụ năng lượng và khả năng làm việc liên tục:** dòng tiêu thụ của động cơ di chuyển và hệ thống điều khiển; thời gian hoạt động cho mỗi chu kỳ pin/ắc quy.

**Đánh giá về chi phí đầu tư và vận hành:** so sánh định lượng chi phí đầu tư và vận hành giữa hệ thống máy cắt cỏ điều khiển từ xa do đề tài phát triển và một số máy cắt cỏ thương mại phổ biến trên thị trường Việt Nam hiện nay.

**Đánh giá an toàn vận hành:** Ổn định khung máy khi lên xuống dốc; khả năng ngắt khẩn cấp, đáp ứng khi mất tín hiệu; an toàn cho người vận hành đứng từ xa.

#### 3.3.2. Nội dung thử nghiệm

Căn cứ mục tiêu thử nghiệm, nhóm tác giả tiến hành thử nghiệm trên các thảm cỏ tại Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh.

Thử nghiệm tại thảm cỏ tại khu vực xưởng cơ khí ô tô: Đây là thảm cỏ có diện tích 800 m<sup>2</sup> bao gồm cỏ lá tre, cỏ tranh, cỏ tạp cao 15-50 cm; độ dốc của thảm cỏ từ 15° đến 30°; địa hình khá mấp mô, có nhiều vùng trũng phù hợp để tiến hành thử nghiệm.



Hình 3.4. Hình ảnh trước khi thực hiện



Hình 3.5. Hình ảnh máy cắt cỏ đang làm việc



Hình 3.6. Hình ảnh kết quả cắt cỏ

Thử nghiệm tại thảm cỏ tại khu vực xưởng phía Nam nhà A2: Đây là thảm cỏ có diện tích 600 m<sup>2</sup> bao gồm thảm cỏ nhật, có địa hình tương đối bằng phẳng.



Hình 3.7. Hình ảnh trước khi thực hiện



Hình 3.8. Thảm cỏ nhà A2 sau khi thực hiện

3.3.4. Kết quả thử nghiệm

Sử dụng phương pháp đánh giá thực nghiệm, kết hợp tính toán; nhóm tác giả tổng hợp kết quả thử nghiệm theo các tiêu chí tại các bảng từ Bảng 3.1 đến Bảng 3.6.

**Bảng 3.1. Khả năng di chuyển theo các độ dốc thử nghiệm**

Thời gian thử nghiệm (phút)	Độ dốc (°)	Tốc độ trung bình (m/s)	Có trượt bánh	Diện tích thực hiện (m <sup>2</sup> )	Ghi chú
10	0	0,5	Không	45	Di chuyển ổn định
10	15°	0,4	Không	72	Di chuyển ổn định
10	20°	0,3	Không	60	Mô-men đủ, ổn định
10	25°	0,2	Ít	56	Tăng tải khi gặp cỏ
10	30°	0,15	Có	30	Cần điều khiển cẩn thận

Nhận xét: Khung gầm vận hành tốt ở mức 15°-25°, đáp ứng yêu cầu địa hình phức tạp.

**Bảng 3.2. Kết quả cắt đối với các loại cỏ khác nhau**

Thời gian thử nghiệm (Phút)	Loại cỏ	Chiều cao ban đầu (cm)	Chiều cao sau cắt (cm)	Thời gian cắt (m <sup>2</sup> /phút)	Đánh giá
10	Cỏ tạp	25-40	4-6	9	Tốt
10	Cỏ lá tre	20-35	3-5	8	Tốt
10	Cỏ tranh	30-50	5-7	6	Khá
10	Cỏ bụi thấp	40-60	5-8	5	Cần lực cắt lớn
10	Cỏ nhung	10-15	3-4	10	Tốt

Nhận xét: Lưỡi cắt hoạt động ổn định, đạt độ đồng đều trên các loại cỏ khác nhau.

**Bảng 3.3. Đánh giá kết nối RF trong các điều kiện thử nghiệm**

Thời gian thử nghiệm (Phút)	Khoảng cách (m)	Độ trễ tín hiệu (ms)	Mất tín hiệu	Ghi chú
5	10	20-30	Không	Ổn định
5	30	30-50	Không	Tốt
5	50	40-70	Không	Tốt

5	100	50–110	Không	Tốt
5	150	110–150	Có	Hiệu quả thấp

Nhận xét: Tay điều khiển RF hoạt động hiệu quả trong phạm vi 10–100 m.

**Bảng 3.4. Mức tiêu thụ dòng điện theo tải trọng**

Thời gian thử nghiệm (Phút)	Điều kiện vận hành	Dòng động cơ di chuyển (A)	Tổng công suất tiêu hao (W)
10	Di chuyển không tải (địa hình phẳng)	2,1	25-30
10	Cắt cỏ tạp	3,4	95-110
10	Cắt cỏ lá tre (dày)	4,2	115-130
10	Leo dốc 25° + cắt cỏ	5,1	135-150

Pin/Ắc quy: 12 V - 30 Ah; thời gian hoạt động trung bình: 90–120 phút.

**Bảng 3.5. So sánh chi phí đầu tư và vận hành (triệu đồng)**

Nội dung	Hệ thống đề tài (tự chế tạo)	Máy cắt cỏ cầm tay/xe đẩy phổ thông	Máy cắt cỏ điều khiển từ xa thương mại
1. Chi phí đầu tư	10	2-20	50-120
Linh kiện, thiết bị	8	2-20 (máy cắt cỏ điện/xăng phổ thông)	40-100 (máy tự hành điều khiển từ xa)
Pin/Ắc quy	2	Không áp dụng	10-20 (pin lớn)
2. Chi phí vận hành (nhiên liệu/điện/tháng)	1-2	1-2	1 - 2
3. Bảo dưỡng 1 năm	0,5-1	1-2	2-4

Nhận xét: So sánh tổng thể giữa chi phí, hiệu quả và khả năng tùy biến, hệ thống nghiên cứu cho thấy tính kinh tế cao và phù hợp cho các ứng dụng thực hành trong môi trường cỏ phức tạp với ngân sách hạn chế.

**Bảng 3.6. Các tiêu chí an toàn**

Tiêu chí đánh giá	Kết quả	Mô tả
Độ ổn định khung khi leo dốc < 30°	Đạt	Không lật, không nghiêng
Mức độ vắng cỏ – đất	Đạt, cần hoàn thiện	Có tấm chắn bảo vệ
Phản ứng khi mất tín hiệu	Đạt	Máy tự dừng hoàn toàn
Nguy cơ nóng động cơ	Đạt	Nhiệt độ nằm trong giới hạn
Nguy cơ chập, quá tải	Đạt	Có bảo vệ quá tải, quá nhiệt

## 4. NHẬN XÉT VÀ ĐỀ XUẤT KIẾN NGHỊ

### 4.1. Ưu điểm

Qua các thử nghiệm thực địa, thiết bị máy cắt cỏ điều khiển từ xa sử dụng ESP32 có những ưu điểm: Hiệu quả cắt ổn định, giá cả phù hợp, có

khả năng cắt nhiều loại cỏ trong khuôn viên trường học và cơ sở công nghiệp.

Khả năng di chuyển tốt trên địa hình dốc 15-30°, đáp ứng yêu cầu thực tế; đảm bảo an toàn, tin cậy, hoạt động ổn định trong phạm vi điều khiển đến 100m; tiêu thụ năng lượng hợp lý, thời

gian vận hành phù hợp chu kỳ làm việc của công nhân vệ sinh.

#### 4.2. Hạn chế

Khung máy mới dừng ở mức mô hình thử nghiệm nên độ cứng vững, khả năng chống rung và tính thẩm mỹ chưa tối ưu như sản phẩm thương mại; chưa có khả năng định vị hoặc chạy theo đường dẫn tự động; dữ liệu vận hành chưa được thu thập - phân tích để tối ưu thuật toán.

Sản phẩm chưa được kiểm định theo các tiêu chuẩn an toàn chính thức (TCVN/ISO) dành cho thiết bị cơ giới nhỏ; một số linh kiện (motor, ESC, RF module) thuộc dạng thương mại phổ thông, chưa phải linh kiện công nghiệp có chứng nhận CE/FCC.

#### 4.3. Kiến nghị – Hướng phát triển tiếp theo

Từ các kết quả nghiên cứu, chế tạo và thử nghiệm mô hình bộ điều khiển từ xa cho máy cắt cỏ trên địa hình đa dạng sử dụng ESP32, nhóm tác giả nhận thấy đề tài có tiềm năng phát triển sâu hơn cả về mặt kỹ thuật lẫn ứng dụng thực tế. Để hoàn thiện hệ thống và hướng tới khả năng triển khai rộng rãi trong thực tiễn, đề tài đề xuất một số kiến nghị và định hướng phát triển như sau:

*Hoàn thiện kết cấu cơ khí và độ bền thiết bị:* Tăng cường độ cứng vững của khung máy, sử dụng vật liệu hợp kim nhôm hoặc thép cường độ cao nhằm giảm rung, tăng tuổi thọ; bổ sung hệ thống treo hoặc giảm chấn để máy vận hành ổn định hơn trên địa hình gồ ghề, taluy hoặc dốc cao; thiết kế lại vỏ bảo vệ đạt chuẩn chống bụi – chống nước (IP54 trở lên), cho phép làm việc trong điều kiện nắng - mưa thất thường [7].

*Nâng cấp hệ thống điều khiển và truyền thông:* Phát triển tay điều khiển mới tích hợp hiển thị OLED/LCD để theo dõi trạng thái máy; ứng dụng module truyền thông Wi-Fi/4G/LTE nhằm mở rộng phạm vi điều khiển và cho phép giám sát qua Internet; tích hợp camera FPV giúp người vận hành quan sát từ xa, tăng độ an toàn khi làm việc ở khu vực nguy hiểm.

*Tăng hiệu suất năng lượng và thời gian vận hành:* Tối ưu hóa bộ truyền động, lựa chọn động cơ hiệu suất cao hơn và ESC chuyên dụng. Xem xét chuyển đổi sang pin Li-ion dung lượng cao

với BMS chuẩn công nghiệp; thiết kế hệ thống pin thay nhanh để tăng thời gian hoạt động liên tục ngoài thực địa [8].

*Tích hợp cảm biến và phát triển chức năng bán tự động – tự động:* Bổ sung các cảm biến: Cảm biến độ nghiêng để bảo vệ khi vượt dốc; GPS độ chính xác cao cho các khu vực rộng; phát triển các thuật toán điều khiển tự động. Trong giai đoạn tiếp theo, có thể phát triển mô hình tự hành hoàn toàn, sử dụng bản đồ khu vực và hệ thống dẫn đường [9], [10], [11].

### 5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một cách có hệ thống quá trình thiết kế, chế tạo và thử nghiệm bộ điều khiển từ xa cho máy cắt cỏ sử dụng vi điều khiển ESP32 làm bộ điều khiển trung tâm. Kết quả nghiên cứu và thử nghiệm thực tế cho thấy hệ thống điều khiển được xây dựng có cấu trúc hợp lý, vận hành ổn định trên địa hình dốc đến 30°, đáp ứng tốt các yêu cầu về điều khiển chuyển động, an toàn vận hành và khả năng thích ứng với điều kiện địa hình đa dạng.

Phạm vi điều khiển hiệu quả của thiết bị đạt khoảng 100m trong điều kiện không gian mở, đảm bảo khả năng vận hành linh hoạt trong các khuôn viên có diện tích lớn. Hệ thống sử dụng nguồn ắc quy cho phép thời gian hoạt động liên tục từ 90 đến 120 phút, đáp ứng yêu cầu làm việc thực tế trong công tác cắt tỉa và bảo dưỡng thảm cỏ.

Thông qua quá trình thử nghiệm, mô hình máy cắt cỏ điều khiển từ xa đã chứng minh tính khả thi và hiệu quả ứng dụng, góp phần giảm thiểu lao động thủ công, nâng cao mức độ an toàn cho người vận hành và tăng hiệu suất chăm sóc cảnh quan. Việc sử dụng các linh kiện điện, điện tử phổ biến, chi phí hợp lý và dễ tích hợp cho thấy giải pháp đề xuất phù hợp để triển khai tại các cơ sở giáo dục, khu công nghiệp và khu dân cư.

Trong tương lai, hệ thống có thể được mở rộng theo hướng tự động hóa cao hơn, như tích hợp định vị GPS, cảm biến tránh vật cản và phát triển chế độ điều khiển bán tự động hoặc tự hành, qua đó góp phần hoàn thiện mô hình máy cắt cỏ thông minh và đáp ứng xu thế cơ giới hóa, tự động hóa trong quản lý cảnh quan.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Owusu, DK., Otchere, PK., & Opare, W. (2023). *Design and implementation of a remote-controlled lawn mower using dual-tone multi-frequency technology*. International Journal of Electrical Engineering and Applied Sciences (IJEEAS), 6 (2). <https://doi.org/10.54554/ijeeas.2023.6.02.001>
- [2]. National Academy of Sciences, Engineering and Medicine (2024). *Automated Applications for Infrastructure Owner-Operator Fleets*. National Academies of Sciences, Engineering and Medicine Publishers. pp. 60–64, chapter 10. <https://doi.org/10.17226/27903>
- [3]. Sarful, H. (2024). *ESP32 Arduino Programming Essentials: An Absolute Beginner Guide for IoT Development*. Amazon Digital Services LLC - Kdp, 2024; ISBN: 9798341233737
- [4]. Wong, J, Y. (2008). *Theory of ground vehicles* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- [5]. Gillespie, T, D. (1992). *Fundamentals of vehicle dynamics*. SAE International.
- [6]. Rajamani, R. (2012). *Vehicle dynamics and control* (2nd ed.). Springer.
- [7]. Mhamunkar, M., Bagane, S., Kolhe, L., Singh, V., Ahuja, M., Li, M, Y.. (2019). *Handheld lawn mower with wheeled assist*. International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, Springer, Cham (2019), pp. 228-235.
- [8]. Adeodu, O., Daniyan, I, A., Ebimoghan, T, S., Akinola, S, O.. (2018). *Development of a solar-powered autonomous lawn mowing robot with integrated obstacle avoidance and path planning functions for semi-structured outdoor environments*. 7th International Conference on Adaptive Science and Technology (ICAST) 2018 (2018), pp. 1-11, 10.1109/ICASTECH.2018.8506681.
- [9]. Siegwart, R., Nourbakhsh, I, R., & Scaramuzza, D. (2011). *Introduction to autonomous mobile robots* (2nd ed.). MIT Press.
- [10]. Ibrahim, B., Brahmaiah, V, S., Sharma, P.. (2020). *Design of a solar-powered, remotely controlled, intelligent autonomous robotic lawn mower*. Mater. Today: Proc., 28 (2020), pp. 2338-2344.
- [11]. Balakrishna, K., Rajesh, N. . (2022). *Design of a solar-powered, remotely controlled, and obstacle-avoiding robotic lawn mower using IoT*. Proceedings of the Global Transformation Conference, Volume 3, Number 1, June 2022, pp. 109-113. <https://doi.org/10.1016/j.gltc.2022.04.023>

**Thông tin của tác giả:****Ths. Trần Đức Quý**

Trưởng phòng Quản trị - Dịch vụ công, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

Điện thoại: 0976.254.123 - Email: tranducquy@qui.edu.vn

**Ths. Bùi Duy Khuông**

Phòng Đào tạo, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

**Ths. Trần Ngân Hà**

Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

**Trần Anh Khánh Ngọc**

Tự động hoá K17A, Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

**ESP32 APPLICATION FOR REMOTE CONTROL OF LAWN MOWERS IN DIVERSE TERRAIN CONDITIONS**

**Information about authors:**

**Tran Duc Quy**, MEng., Head of Administration - Public Services Department, Quang Ninh University of Industry

**Bui Duy Khuong**, MEng., Training Department, Quang Ninh University of Industry

**Tran Ngan Ha**, MEng., Faculty of Electrical Engineering, Quang Ninh University of Industry

**Tran Anh Khanh Ngoc**, Automation K17A, Faculty of Electrical Engineering, Quang Ninh University of Industry

**ABSTRACT:**

*In the context of increasing automation and IoT applications, designing intelligent mechatronic devices for production and daily life is an inevitable trend. This paper presents the research, design, and fabrication process of a remote control for a lawn mower using the ESP32 microcontroller as the central controller. The system allows wireless control, monitoring of the machine's operating status, and ensures stable operation under diverse terrain conditions such as flat surfaces, slopes, and rough terrain. Experimental results show that the system operates reliably, with low latency and good adaptability to real-world working conditions.*

**Keywords:** ESP32, remote control, lawn mower, motor DC, complex terrain.

**REFERENCES**

- [1]. Owusu, DK., Otchere, PK., & Opare, W. (2023). *Design and implementation of a remote-controlled lawn mower using dual-tone multi-frequency technology*. International Journal of Electrical Engineering and Applied Sciences (IJEEAS), 6 (2). <https://doi.org/10.54554/ijeeas.2023.6.02.001>
- [2]. National Academy of Sciences, Engineering and Medicine (2024). *Automated Applications for Infrastructure Owner-Operator Fleets*. National Academies of Sciences, Engineering and Medicine Publishers. pp. 60–64, chapter 10. <https://doi.org/10.17226/27903>
- [3]. Sarful, H. (2024). *ESP32 Arduino Programming Essentials: An Absolute Beginner Guide for IoT Development*. Amazon Digital Services LLC - Kdp, 2024; ISBN: 9798341233737
- [4]. Wong, J, Y. (2008). *Theory of ground vehicles* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- [5]. Gillespie, T, D. (1992). *Fundamentals of vehicle dynamics*. SAE International.
- [6]. Rajamani, R. (2012). *Vehicle dynamics and control* (2nd ed.). Springer.
- [7]. Mhamunkar, M., Bagane, S., Kolhe, L., Singh, V., Ahuja, M., Li, M, Y.. (2019). *Handheld lawn mower with wheeled assist*. International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, Springer, Cham (2019), pp. 228-235.
- [8]. Adeodu, O., Daniyan, I, A., Ebimoghan, T, S., Akinola, S, O.. (2018). *Development of a solar-powered autonomous lawn mowing robot with integrated obstacle avoidance and path planning functions for semi-structured outdoor environments*. 7th International Conference on Adaptive Science and Technology (ICAST) 2018 (2018), pp. 1-11, 10.1109/ICASTECH.2018.8506681.
- [9]. Siegwart, R., Nourbakhsh, I, R., & Scaramuzza, D. (2011). *Introduction to autonomous mobile robots* (2nd ed.). MIT Press.
- [10]. Ibrahim, B., Brahmaiah, V, S., Sharma, P.. (2020). *Design of a solar-powered, remotely controlled, intelligent autonomous robotic lawn mower*. Mater. Today: Proc., 28 (2020), pp. 2338-2344.
- [11]. Balakrishna, K., Rajesh, N. . (2022). *Design of a solar-powered, remotely controlled, and obstacle-*

*avoiding robotic lawn mower using IoT*. Proceedings of the Global Transformation Conference, Volume 3, Number 1, June 2022, pp. 109-113. <https://doi.org/10.1016/j.gltc.2022.04.023>

**Ngày nhận bài:** 21/01/2026;

**Ngày nhận bài sửa:** 03/04/2026;

**Ngày chấp nhận đăng:** 10/04/2026.