



SPEED CONTROL OF ELECTRIC VEHICLES BASE ON PID ROBUST CONTROLLER

Nguyen Van Hai

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 29/09/2024

Revised: 07/10/2024

Accepted: 10/10/2024

Published online: 15/10/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.8.1>

* *Corresponding author*

Email: haiktd@utc.edu.vn; Tel: +84-888866339

Abstract. Designing speed controllers for EV (electric vehicle) is an important research topic, since it is able to increase the performance of an EV. This paper presents a method for designing a speed controller for an electric vehicle based on a robust PID controller (R-PID). First, from the nonlinear model of the electric vehicle, an identification survey is conducted to convert the nonlinear model of the electric vehicle into a linear model with parameter uncertainties. Synthesize a PID controller for the object model at average parameters. Next, design an R-PID speed controller based on the perspective of the assumed k_D parameter known in advance, the parameters k_P and k_I are calculated by the D-domain method. The effectiveness of the designed R-PID controller is evaluated through simulating the speed control system of the electric vehicle using Matlab-Simulink software with a nonlinear model of the vehicle. The R-PID controller has stably controlled the speed of the electric vehicle with a nonlinear vehicle model and some parameters of the drive motor and the electric vehicle are uncertain. The R-PID controller is simple and easy to apply in practice.

Keywords: PID – proportional integral derivative, EV – electric vehicle, NPID – nonlinear PID, robust control.

@ 2024 University of Transport and Communications



ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ XE ĐIỆN TRÊN CƠ SỞ BỘ ĐIỀU KHIỂN BỀN VỮNG PID

Nguyễn Văn Hải

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 29/09/2024

Ngày nhận bài sửa: 07/10/2024

Ngày chấp nhận đăng: 10/10/2024

Ngày xuất bản Online: 15/10/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.8.1>

* Tác giả liên hệ

Email: haiktd@utc.edu.vn; Tel: +84-888866339

Tóm tắt. Thiết kế bộ điều khiển tốc độ của EV (electric vehicle) là hướng nghiên cứu quan trọng, qua đó giúp tăng hiệu suất của một EV. Bài báo này đưa ra phương pháp thiết kế bộ điều khiển tốc độ của xe điện trên cơ sở bộ điều khiển bền vững PID (R-PID). Đầu tiên từ mô hình phi tuyến của xe điện tiến hành khảo sát nhận dạng để đưa mô hình phi tuyến của xe điện thành mô hình tuyến tính với các bất định tham số. Tổng hợp bộ điều khiển PID cho mô hình đối tượng ở các tham số trung bình. Tiếp theo thiết kế bộ điều khiển tốc độ R-PID theo quan điểm tham số k_D giả định biết trước, các tham số k_P và k_I được tính toán bằng phương pháp phân miền D. Hiệu quả của bộ điều khiển R-PID đã thiết kế được đánh giá thông qua mô phỏng hệ thống điều khiển tốc độ của xe điện bằng phần mềm Matlab-Simulink với mô hình phi tuyến của xe. Bộ điều khiển R-PID đã điều khiển ổn định được tốc độ của xe điện với mô hình xe phi tuyến và có bất định một số tham số của động cơ truyền động và của xe điện. Bộ điều khiển R-PID có tính đơn giản và dễ áp dụng vào thực tế.

Từ khóa: PID - bộ điều khiển tỷ lệ vi tích phân, EV – xe điện, NPID – bộ điều khiển PID phi tuyến, điều khiển bền vững.

@ 2024 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, việc sử dụng xe điện (EV) là cần thiết để giảm thiểu khí thải độc hại ra môi trường. Xe điện ngày càng trở nên phổ biến do hiệu quả cao, yêu cầu bảo trì thấp và vận hành đơn giản [1]. Hiệu suất của một EV nói chung bị ảnh hưởng đáng kể bởi hệ thống động cơ

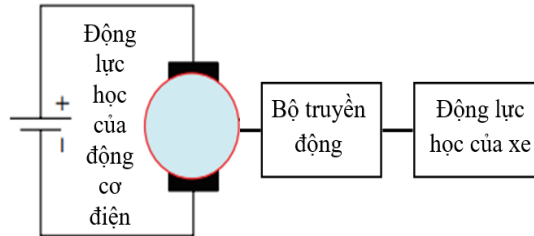
điện truyền động. Việc nghiên cứu thiết kế các bộ điều khiển tốc độ của EV chính là nghiên cứu điều khiển tốc độ của động cơ điện. Mô hình toán học của EV bao gồm hai thành phần, đó là mô hình của động cơ điện và động lực học của xe. Mô hình toán của EV là một mô hình phi tuyến và có bất định các tham số cũng như ảnh hưởng của gió, độ dốc mặt đường,...

Nhiều công trình nghiên cứu tập trung vào thiết kế bộ điều khiển tốc độ cho EV từ đơn giản đến phức tạp nhằm mục đích điều khiển được tốc độ của xe theo giá trị đặt mong muốn, cao hơn nữa là tính toán đến tối ưu năng lượng tiêu thụ. Công trình [1] đã đưa ra bộ điều khiển PID, bộ điều khiển NPID và bộ điều khiển thích nghi PID trên cơ sở mô hình mẫu. Theo [1] thì chất lượng điều khiển tốc độ của EV đã được nâng cao. Tuy nhiên lại ép hệ thống điều khiển theo mô hình mẫu dạng khâu quán tính bậc nhất, vì vậy chưa phản ánh chính xác bởi mô hình EV có tính phi tuyến cao, mặt khác các kết quả mô phỏng lại dựa vào mô hình xấp xỉ tuyến tính. Trong [2] đưa ra bộ điều khiển PID phi tuyến (NPID), chưa quan tâm đến tham số của xe cũng như của động cơ DC thay đổi. Tham số NPID được tính toán trên cơ sở tối ưu hài hòa các chỉ tiêu chất lượng thời gian điều khiển, độ quá điều chỉnh và sai số xác lập. Phương án thiết kế bộ điều khiển tốc độ của EV bằng bộ điều khiển dự báo phi tuyến (NMPC) [3] được đề xuất để kiểm soát tốc độ của xe điện trọng lượng nhẹ phi tuyến. Cơ sở của NMPC là mô hình thay đổi tham số tuyến tính (LPV), tạo điều kiện thuận lợi cho việc xây dựng các điều kiện thiết kế bộ điều khiển về mặt bất đẳng thức ma trận tuyến tính và tổng quát. Áp dụng điều khiển động cơ DC với điện áp từ 0 đến 60V, dòng điện từ 0 đến 5A và tốc độ xe từ 0 đến 50 km/h. Trong [4] đưa ra bộ điều khiển dự báo PI trên cơ sở mô hình mờ T-S cho điều khiển tốc độ của EV, có tính toán tới bất định tham số của xe. Kết quả [4] cho thấy xe bám được độ đặt điều khiển, tuy nhiên thuật toán phức tạp. Trong [5] lại sử dụng logic mờ để thiết kế bộ điều khiển sử dụng phanh hãm tái sinh để nâng cao hiệu suất của xe. Bộ điều khiển sử dụng logic mờ với 3 đầu vào là tốc độ của xe, trạng thái sạc của pin (state of charge – SOC) và lực phanh của xe. Đầu ra của bộ điều khiển mờ là hệ số tỷ lệ giữa lực phanh hãm tái sinh trên tổng lực phanh của xe. Bộ điều khiển phi tuyến để điều khiển tốc độ cho EV sử dụng mạng nơ ron nhân tạo Chebyshev (CNN) với chức năng ước lượng các thành phần phi tuyến chưa biết để tính toán giá trị điều khiển theo luật backstepping và giá tính toán bộ điều khiển CNN thích nghi tối ưu [6]. Phương pháp của [6] đã nâng cao được chất lượng điều khiển tốc độ của xe và điện áp điều khiển phù hợp với dải điện áp cho phép của động cơ DC, tuy nhiên thuật toán điều khiển phức tạp. Trong [7] và [8] đưa ra thiết kế bộ điều khiển bền vững tốc độ của EV với động cơ truyền động là động cơ PMSM. Bộ điều khiển được thiết kế dựa trên chuẩn H_{∞} kết hợp với bất đẳng thức ma trận tuyến tính (LMI) cho cả bộ điều khiển dòng điện và bộ điều khiển điện áp cho động cơ PMSM [7]. Trong [8] sử dụng chuẩn H_{∞} để thiết kế bộ điều khiển giảm bậc cho điều khiển tốc độ và điều khiển mô men xoắn của động cơ PMSM, kết quả cho thấy bộ điều khiển [8] cho đáp ứng điều khiển tốt hơn phương án sử dụng bộ PID. Như vậy có nhiều phương pháp thiết kế bộ điều khiển tốc độ cho EV khác nhau.

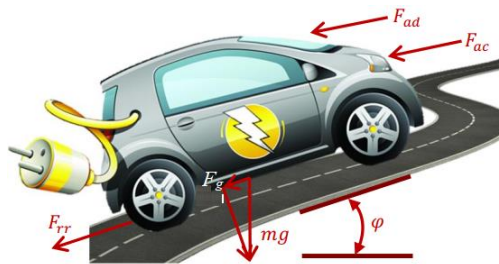
Với mục đích đơn giản hóa bộ điều khiển để dễ áp dụng vào thực tế, trong bài báo này thiết kế bộ điều khiển tốc độ cho xe điện phi tuyến sử dụng bộ trên cơ sở bộ điều khiển PID bền vững (R-PID) theo quan điểm sau: Từ mô hình phi tuyến của xe điện, tiến hành khảo sát và xấp xỉ thành các mô hình tuyến tính. Từ các mô hình xấp xỉ tuyến tính tiến hành xác định mô hình tuyến tính tổng quát có bất định tham số. Phân miền để tìm tham số bộ PID với đối tượng bất định tham số. Mô phỏng và đánh giá hiệu quả của bộ điều khiển.

2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA XE ĐIỆN

Động lực học của hệ thống xe điện bao gồm hai phần chủ yếu đó là động lực học của xe và động lực học của hệ thống động cơ điện. Mô hình hệ thống xe điện [3] như hình 1. Các lực tác động lên xe đang chạy như hình 2.



Hình 1. Hệ thống xe điện.



Hình 2. Lực tác động khi xe đang chạy.

Hệ thống động cơ điện được kết nối với hệ thống xe thông qua bộ truyền động hộp số. Trong xe điện thực tế, người lái xe cung cấp tín hiệu điều khiển thông qua bàn đạp ga/phanh dưới dạng tăng/giảm tốc độ tới bộ điều khiển của hệ thống đây. Động cơ điện được sử dụng trong hệ thống xe điện là động cơ điện một chiều, động cơ này kết nối với hệ thống xe thông qua bộ truyền động, bao gồm hệ thống bánh răng. Theo đó, tốc độ của động cơ DC được điều khiển để điều khiển tốc độ xe điện thực tế.

Động lực học của xe:

Các yếu tố chính ảnh hưởng đến động lực học của xe là tình trạng đường, lực cản khí động học, độ dốc của đường, tăng tốc,...Sau khi tính toán đến các yếu tố này, động lực học của xe được viết như sau [1], [3].

$$F = F_{rr} + F_{ad} + F_g + F_{ac} = \mu_{rr} mg \cos \varphi + \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 + mg \sin \varphi + m \frac{dv}{dt}. \quad (1)$$

μ_{rr} là hệ số lực cản lăn; m là khối lượng của xe điện; g là gia tốc trọng trường; ρ là tỷ trọng của không khí; A là diện tích mặt trước của xe; C_d là hệ số lực cản; v là tốc độ của xe; φ là góc dốc của đường. Giá trị m trong (1) là một hằng số rất nghiêm ngặt, trong bài báo này đề xuất m bao gồm khối lượng xe M và khối lượng hành khách ΔM , nghĩa là $m = M + \Delta M$. Do đó m thay đổi theo thời gian và không phải là hằng số.

Trong (1) có các thành phần lực cản lăn F_{rr} , lực cản khí động học F_{ad} , lực hấp dẫn F_g , và lực gia tốc F_{ac} Tổng hợp lực F này sẽ tạo ra một mô men xoắn phản tác dụng đối với động cơ

dẫn động, được tính bằng công thức (2), Với r là bán kính của lốp xe điện; G là tỷ số truyền động bánh răng và động cơ để tạo ra mô men xoắn T_L .

$$T_L = F (r/G) \tag{2}$$

Động lực học của động cơ DC:

Xe điện được điều khiển bởi động cơ DC và động lực học được đưa ra bởi [1], [6]

$$\begin{cases} J \frac{d\omega}{dt} = L_{af} i^2 - B\omega - T_L \\ (L_a + L_f) \frac{di}{dt} = u - (R_a + R_f) i - L_{af} i\omega \end{cases} \tag{3}$$

Trong đó J là quán tính của động cơ, bao gồm bánh răng là lốp, ω là tốc độ góc của động cơ, i là dòng điện phần ứng (dòng điện trường), L_a là độ tự cảm của phần ứng, R_a là điện trở phần ứng, L_f là độ tự cảm của cuộn dây kích từ, R_f là điện trở của cuộn dây kích từ, B là hệ số nhớt, T_L là ngoại lực mô men xoắn, u là điện áp đầu vào điều khiển và L_{af} độ tự cảm tương hỗ giữa cuộn dây phần ứng và từ trường cuộn dây, nói chung là phi tuyến và bão hòa. Trong bài báo này, điện trở trong cuộn dây phần ứng R_a của động cơ DC được coi là thay đổi, bởi vì khi nhiệt độ thay đổi thì điện trở cuộn dây phần ứng của động cơ DC thay đổi.

Động lực học của xe điện:

Tích hợp mối quan hệ giữa động lực học của xe và động lực học của động cơ điện chúng ta sẽ thiết lập được mô hình động lực học của xe điện [1], [6]. Từ (1), (2) và (3) ta được động lực học của xe điện (4) và quan hệ tốc độ xe với tốc độ động cơ điện (5).

$$\begin{cases} \frac{d\omega}{dt} = \left(\frac{1}{J + m(\frac{r}{G})^2} \right) \left[L_{af} i^2 - B\omega - \frac{r}{G} \left(\mu_{rr} mg \cos \varphi + \frac{1}{2} \rho AC_d \left(\frac{r}{G} \right)^2 \omega^2 + mg \sin \varphi \right) \right] \\ \frac{di}{dt} = \left(\frac{1}{L_a + L_f} \right) \left[u - (R_a + R_f) i - L_{af} i\omega \right] \end{cases} \tag{4}$$

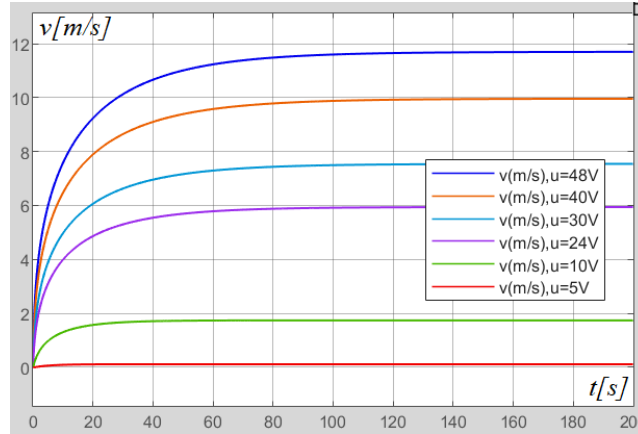
$$v = (r/G) \omega . \tag{5}$$

Bảng 1. Tham số của xe điện.

Ký hiệu	Động cơ DC		Ký hiệu	Xe	
	Bình thường	Bất định		Bình thường	Bất định
$L_a + L_f$	6,008 [mH]	-5%	M	800 [kg]	+25%
$R_a + R_f$	0,12 [Ω]	+10%	A	1,8 [m ²]	-
L_{af}	1,766 [mH]	-	ρ	1,25 [Kg/m ³]	-
i	78 [A] (max 250)	-	C_d	0,3	-10%
u	[0 ÷ 48] [V]	-	r	0,25 [m]	+10%
B	0,0002 [m ² /s]	-	μ_{rr}	0,015	-
ω	2800 [r/min] (v=25 km/h)	-	G	11	+15%
J	0,05 [kg.m ²]	-	φ	0 [°]	-

3. NHẬN DẠNG VÀ XẤP XỈ MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA XE ĐIỆN

Mô hình của xe (4), (5) là phi tuyến. Đối với hệ thống điều khiển phi tuyến thì tính chất ổn định của hệ thống không những chỉ phụ thuộc vào bộ điều khiển mà còn phụ thuộc vào giá trị đặt điều khiển. Lấy các giá trị tham số của xe ở giá trị chưa thay đổi, tiến hành khảo sát với các điện áp đầu vào khác nhau ta được kết quả như hình 5.



Hình 5. Đáp ứng tốc độ của xe với các giá trị điện áp khác nhau.

Kết quả nhận dạng được các mô hình đối tượng xấp xỉ tuyến tính có dạng khâu quán tính bậc 2. Các tham số nhận dạng như bảng 2.

Bảng 2. Các tham số nhận dạng.

u	P	k	a_2	a_1	a_0
48V	P_1	0,2393	0,00001	10,29	1
40V	P_2	0,2471	0,01025	16,16	1
30V	P_3	0,251	52,35	22,87	1
24V	P_4	0,2472	46,9	21,17	1
10V	P_5	0,1739	25,43	13,18	1
5V	P_6	0,02268	0,232	5,945	1

Từ bảng 2 ta thấy với P_1 có a_2 rất nhỏ vì vậy có thể bỏ qua a_2 , do đó P_1 có dạng khâu quán tính bậc 1. Từ P_2 đến P_6 chúng ta tính được mô hình bậc 2 trung bình (6). Và xác định được mô hình bất định bậc 2 (7).

$$\bar{P}(s) = \frac{\bar{k}}{\bar{a}_2 s^2 + \bar{a}_1 s + \bar{a}_0} \quad (6)$$

$$\text{với } \bar{k} = \sum_{i=2}^6 k_i / 5 = 0,1884; \bar{a}_2 = \sum_{i=2}^6 a_{2i} / 5 = 24,9844; \bar{a}_1 = \sum_{i=2}^6 a_{1i} / 5 = 15,8650; \bar{a}_0 = 1.$$

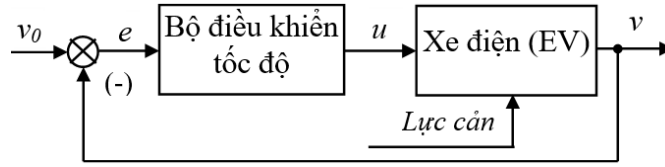
$$\tilde{P}(s) = \frac{\tilde{k}}{\tilde{a}_2 s^2 + \tilde{a}_1 s + \tilde{a}_0} \quad (7)$$

Trong đó: $\tilde{k} = [k^+ \quad k^-] = [0,2510 \quad 0,02268]$, $\tilde{a}_2 = [a_2^+ \quad a_2^-] = [52,35 \quad 0,01025]$, và $\tilde{a}_1 = [a_1^+ \quad a_1^-] = [22,87 \quad 5,945]$; $\tilde{a}_0 = 1$.

4. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ XE ĐIỆN

3.1. Cấu trúc của hệ thống điều khiển tốc độ xe điện

Sơ đồ cấu trúc của hệ thống điều khiển (HTĐK) tốc độ xe điện như hình 6. Bộ điều khiển tốc độ được chọn là bộ PID (8), đối tượng điều khiển (7).



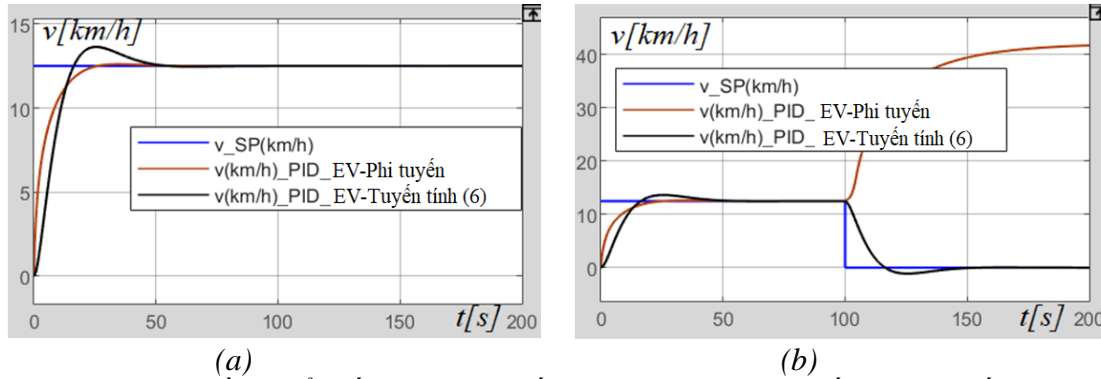
Hình 6. Sơ đồ khối của HTĐK tốc độ xe điện.

$$C(s) = k_p + k_I/s + k_Ds \quad (8)$$

3.2. Tổng hợp bộ điều khiển PID

Với đối tượng $\bar{P}(s)$ trung bình (6), bộ điều khiển PID (8) thì có nhiều phương pháp để tổng hợp bộ PID để hệ thống ổn định [9]. Trong phần này bài báo sử dụng PID Tuner App trong Matlab-Simulink. Kết quả tham số PID tìm được như (9) và đáp ứng điều khiển tốc độ của xe như hình 7.

$$k_p = 8,731; k_I = 0,9759; k_D = 7,669 \quad (9)$$



Hình 7. Đáp ứng điều khiển tốc độ xe với đối tượng trung bình tuyến tính và đối tượng phi tuyến khi sử dụng bộ PID (9).

Nhận xét: HTĐK với bộ điều khiển (9) và mô hình xe $\bar{P}(s)$ (6), tốc độ ra của EV bám được tốc độ đặt mong muốn. HTĐK với bộ điều khiển (9) và mô hình xe phi tuyến (4), (5) với giá trị đặt điều khiển là 12,5 km/h ở hình 7(a) ta thấy hệ thống là ổn định. Khi mà quỹ đạo tốc độ đặt đầu giảm từ 12,5 km/h về 0 km/h ở hình 7(b) tại thời điểm 100s ta thấy với mô hình EV tuyến tính trung bình thì tốc độ xe bám theo giá trị đặt điều khiển, còn với mô hình xe phi tuyến thì hệ thống không bám được theo tốc độ đặt.

3.2. Tổng hợp bộ điều khiển bền vững R-PID

Hàm truyền của hệ hở và hệ kín lần lượt như (10) và (11)

$$W_H(s) = C(s)\tilde{P}(s) = \left(k_p + \frac{k_I}{s} + k_Ds\right) \frac{\tilde{k}}{\tilde{a}_2s^2 + \tilde{a}_1s + \tilde{a}_0} = \frac{\tilde{k}(k_Ds^2 + k_Ps + k_I)}{\tilde{a}_2s^3 + \tilde{a}_1s^2 + \tilde{a}_0s} \quad (10)$$

$$W_K(s) = \frac{W_H(s)}{1+W_H(s)} = \frac{\tilde{k}k_D s^2 + \tilde{k}k_P s + \tilde{k}k_I}{\tilde{a}_2 s^3 + (\tilde{a}_1 + \tilde{k}k_D) s^2 + (\tilde{a}_0 + \tilde{k}k_P) s + \tilde{k}k_I} \quad (11)$$

Phương trình đặc trưng của hệ thống

$$H(s) = \tilde{a}_2 s^3 + (\tilde{a}_1 + \tilde{k}k_D) s^2 + (\tilde{a}_0 + \tilde{k}k_P) s + \tilde{k}k_I \quad (12)$$

$$H(j\omega) = [\tilde{k}k_I - (\tilde{a}_1 + \tilde{k}k_D)\omega^2] + j\omega[(\tilde{a}_0 + \tilde{k}k_P) - \tilde{a}_2\omega^2] = P(\omega) + jQ(\omega) = 0. \quad (13)$$

Để đơn giản, với bộ điều khiển PID (6), bài báo này giả thiết hệ số $k_P = 0,03$. Khi đó các tham số cần tìm là k_P và k_I . Từ (13), ta có:

$$P(\omega) = 0 \Leftrightarrow k_I = (\tilde{a}_1 + \tilde{k}k_D)\omega^2/\tilde{k}; \quad Q(\omega) = 0 \Leftrightarrow k_P = (\tilde{a}_2\omega^2 - \tilde{a}_0)/\tilde{k} \quad (14)$$

$$k_I^{\min} = (a_1^- + k^-k_D)\omega^2/k^+, k_I^{\max} = (a_1^+ + k^+k_D)\omega^2/k^- \quad (15)$$

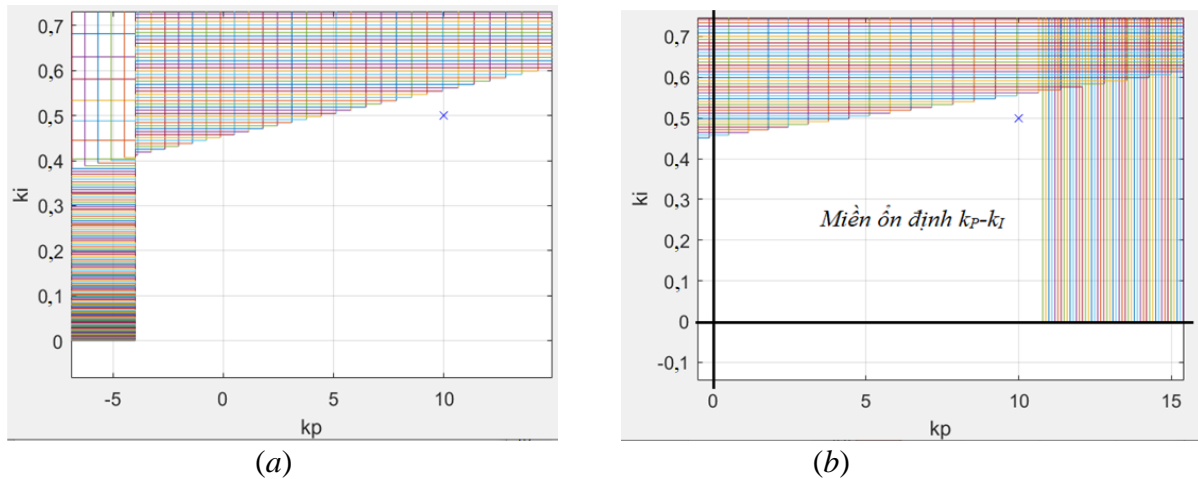
$$k_P^{\min} = (a_2^- \omega^2 - a_0^+)/k^+, k_P^{\max} = (a_2^+ \omega^2 - a_0^-)/k^- \quad (16)$$

Sử dụng phương pháp phân miền D [10, 11] và tiến hành phân miền D để tìm k_P - k_I ta được kết quả như hình 8(a). Tuy nhiên, trong thực tế các tham số k_P và k_I là dương. Mặt khác do giới hạn vật lý nên chúng ta cần phải xác định miền ổn định thực tế. Nếu chúng ta để ý tại $k_P = 0$, thì $k_I = 0,45$. Để tính toán giới hạn của k_P , chúng ta tính toán hệ số tỷ lệ chung là K . Để đảm bảo dòng điện danh định là 78A, với tốc độ điều khiển cực đại là 25 km/h tương ứng với 6,944 m/s. Tại thời điểm ban đầu, nếu chúng ta đặt giá trị điều khiển là 25 km/h thì sai số lớn nhất là 6,944 m/s.

Do đó $K=78/(25000/3600) = 11,232$.

$$K = k_{P_th} + k_I(0) \Rightarrow k_{P_th} = K - k_I(0) = 11,232 - 0,45 = 10,782 \quad (17)$$

Trên cơ sở đó, ta tìm được miền ổn định k_P - k_I như hình 8(b).



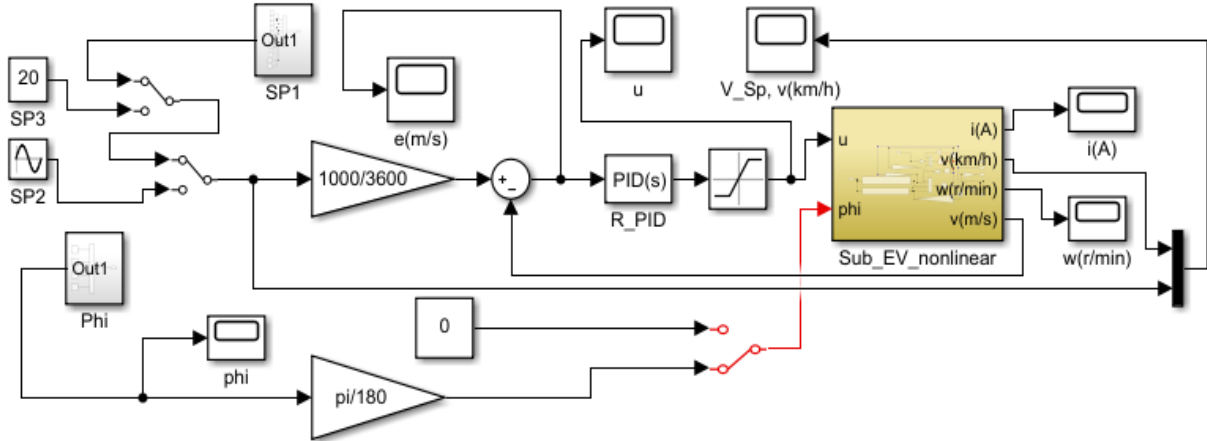
Hình 8. Phân miền ổn định k_P - k_I .

Như vậy, tham số PID của bộ điều khiển (6) là $k_D = 0,03$ và hai tham số còn lại thuộc miền ổn định như hình 8(b). Chọn 1 bộ tham số PI trong miền ổn định ta có bộ Điều khiển R-PID.

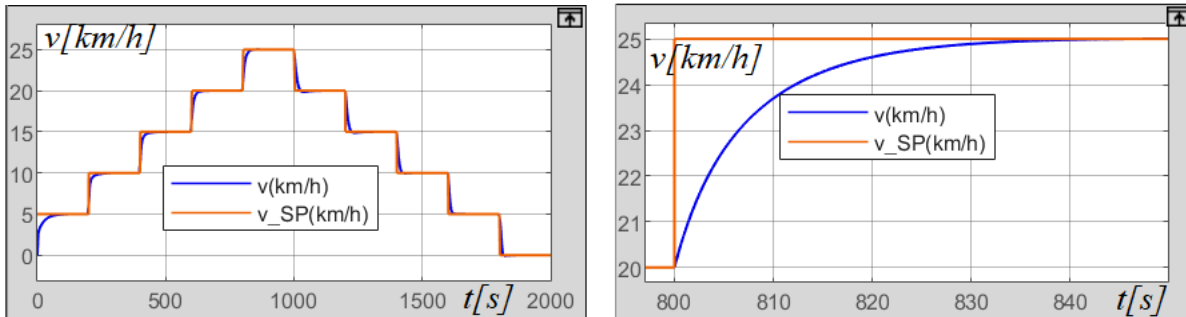
$$k_p = 10,5; k_I = 0,5; k_D = 0,03 \quad (18)$$

3.3. Mô phỏng hệ thống điều khiển tốc độ xe điện

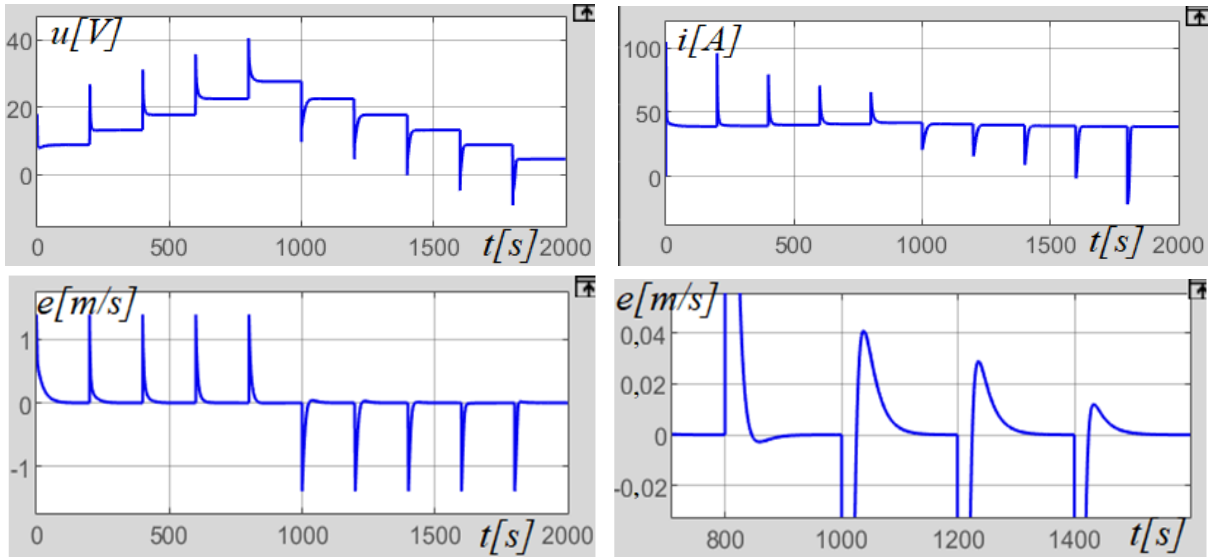
Chương trình mô phỏng được thiết kế trên Matlab-Simulink như hình 9. Kết quả mô khi tham số của xe chưa thay đổi như hình 10, hình 11 và hình 12. Từ hình 10 tại yêu cầu điều khiển 25 km/h, ta thấy thời gian quá độ 35s, độ quá điều chỉnh = 0, sai số xác lập bằng 0.



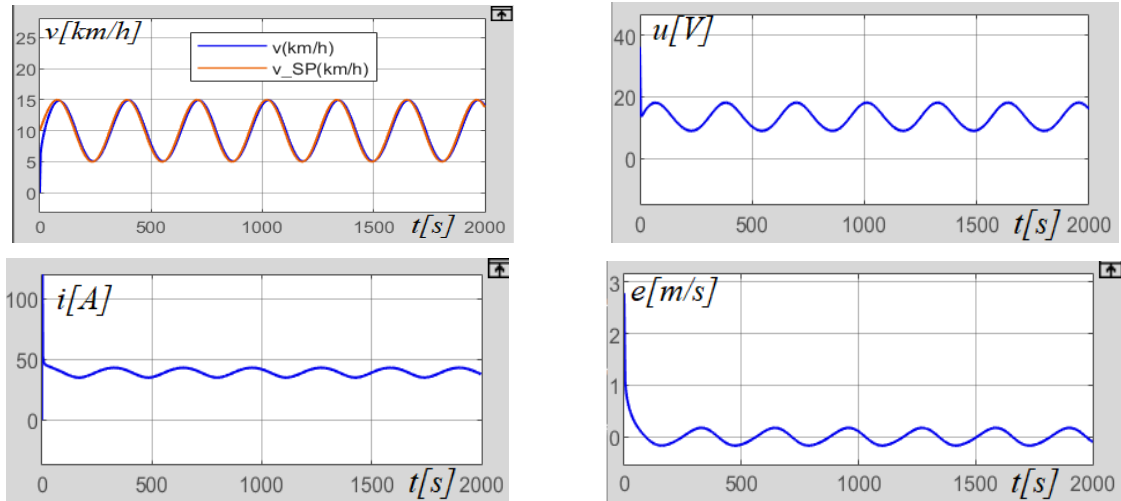
Hình 9. Chương trình mô phỏng.



Hình 10. Đáp ứng tốc độ EV với bộ R-PID (18) khi tham số chưa thay đổi.

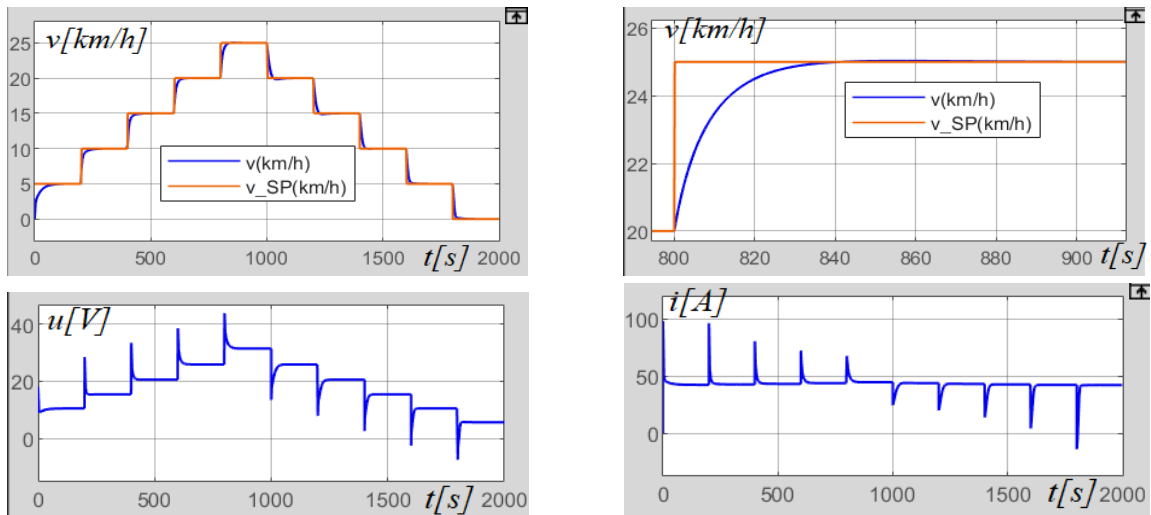


Hình 11. Quan sát giá trị điện áp điều khiển, dòng điện và sai số điều khiển.

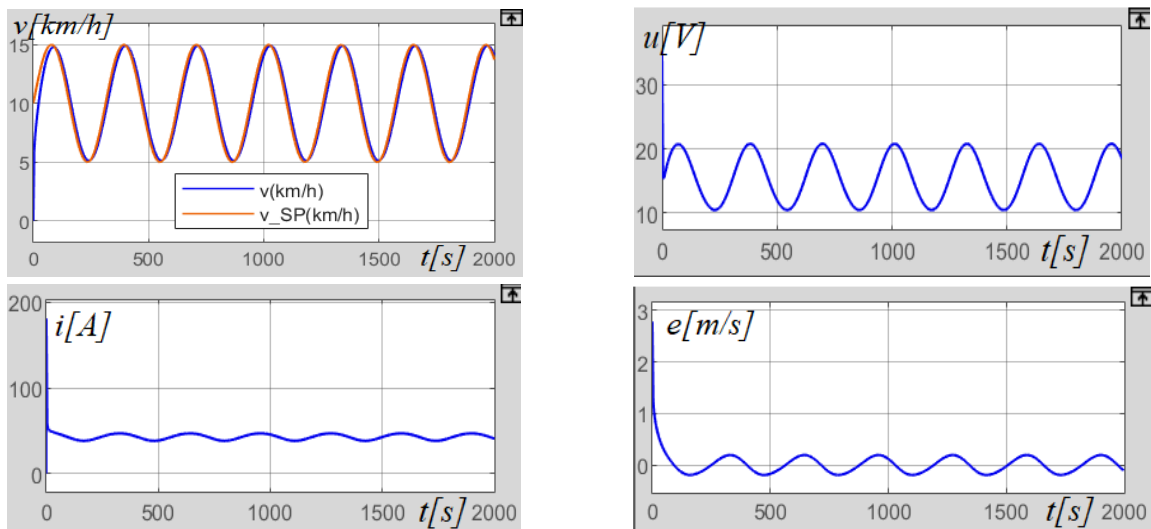


Hình 12. Đáp ứng tốc độ EV với tốc độ đặt dạng sin.

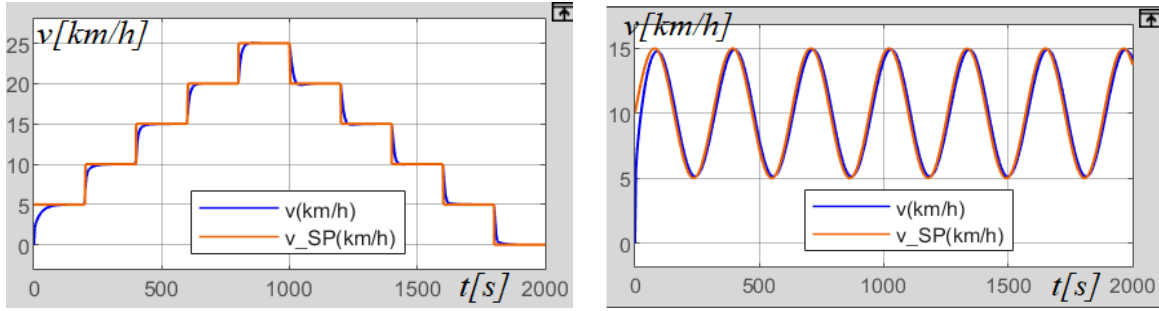
Khi tham số xe thay đổi như bảng 1. Các kết quả mô phỏng như các hình 13, hình 14.



Hình 13. Đáp ứng tốc độ EV với bộ R-PID (18) khi tham số thay đổi.

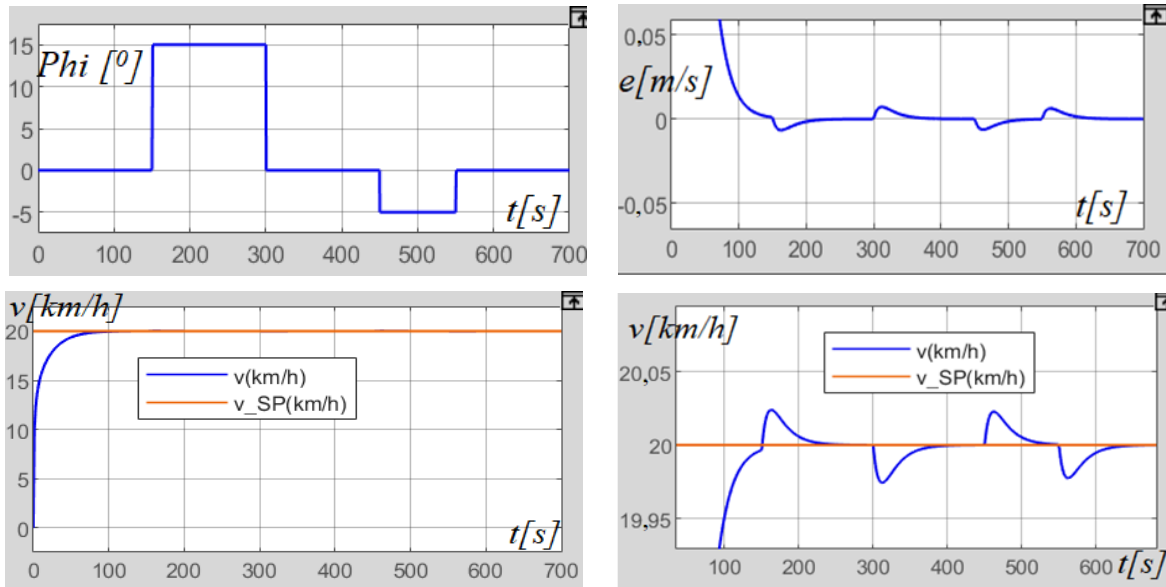


Hình 14. Đáp ứng tốc độ của EV với tốc độ đặt dạng sin, tham số xe thay đổi.



Hình 15. Đáp ứng tốc độ EV, tham số xe thay đổi như bảng 1 và $m=1200$ kg.

Tham số trung bình, độ dốc mặt đường thay đổi. Các kết quả mô phỏng như hình 16.



Hình 16. Đáp ứng tốc độ xe khi độ dốc mặt đường thay đổi.

Nhận xét: Các kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển R-PID (18) cho chất lượng điều khiển tốc độ của xe là tốt, điều khiển bám được quỹ đạo tốc độ mong muốn với EV phi tuyến. Các kết quả thử nghiệm với các bất định tham số xe cho thấy bộ điều khiển (18) vẫn điều khiển xe bám theo được quỹ đạo tốc độ đặt mong muốn. Điều này khẳng định mức độ phi tuyến của xe ảnh hưởng nhiều hơn so với bất định tham số (có giới hạn) khi thiết kế bộ điều khiển.

5. KẾT LUẬN

Bài báo thiết kế được bộ điều khiển R-PID cho điều khiển tốc độ của xe điện, đảm bảo ổn định bền vững. Bộ điều khiển R-PID có tính đơn giản, dễ thực hiện. Phương pháp tổng hợp đưa ra các bước cụ thể. Đặc điểm của phương pháp là quy đổi tương đương điều khiển phi tuyến của xe về đối tượng xấp xỉ tuyến tính với các bất định tham số. Kết quả mô phỏng không áp dụng cho các mô hình xấp xỉ tuyến tính mà áp dụng thẳng vào mô hình phi tuyến vốn có của xe. Thông qua kết quả mô phỏng đã cho thấy phương pháp mà bài báo đưa ra đã điều khiển được tốc độ của xe điện, ổn định và bám được các quỹ đạo tốc độ khác nhau. Hạn chế của phương pháp mà bài báo đưa ra là vẫn sử dụng cấu trúc bộ PID kinh điển nên chất lượng điều khiển tốc độ của xe chưa cao. Đây cũng chính là cơ sở để tác giả tiếp tục nghiên cứu ở các công trình tiếp theo.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin chân thành cảm ơn các bạn bè, đồng nghiệp tại Trường đại học Giao thông vận tải đã quan tâm đóng góp ý kiến cho công trình nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M. A. Shamseldin, Design of Auto-Tuning Nonlinear PID Tracking Speed Control for Electric Vehicle with Uncertainty Consideration, World Electric Vehicle Journal, 14 (2023) 78. <https://doi.org/10.3390/wevj14040078>
- [2]. M. A. Shamseldin, M. A. Ghany, Y. H. Hossamel-din, Optimal Nonlinear PID Speed Control Based on Harmony Search for an Electric Vehicle, Future Engineering Journal, 2 (2021) 2314-7237. <https://digitalcommons.aaru.edu.jo/fej/vol2/iss1/4>
- [3]. N. Vafamand, M. M. Arefi, M. H. Khooban, T. Dragicevic, F. Blaabjerg, Nonlinear Model Predictive Speed Control of Electric Vehicles Represented by Linear Parameter Varying Models with Bias terms, IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 7 (2019) 2081-2089. <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2018.2884346>
- [4]. M. H. Khooban, N. Vafamand, T. Niknam, T-S fuzzy model predictive speed control of electrical vehicles, ISA Transactions, 64 (2016) 231-240. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isatra.2016.04.019>
- [5]. S. Agrawal, V. Shrivastava, Speed Control of Electric Vehicle Using Fuzzy Logic Controller, IEEE, International Conference on Information, Communication, Instrumentation and Control, (2017). <https://doi.org/10.1109/ICOMICON.2017.8279036>
- [6]. V. Sharma, S. Purwar, Nonlinear Controllers for a Light-Weighted All-Electric Vehicle Using Chebyshev Neural Network, International Journal of Vehicular Technology, 2014 (2014) 867209. <https://doi.org/10.1155/2014/867209>
- [7]. F. Oudjama, A. Boumediene, K. Saidi, D. Boubekour, Robust Speed Control in Nonlinear Electric Vehicles Using H-Infinity Control and the LMI Approach, Journal of Intelligent Systems and Control, 2 (2023) 170–182. <https://doi.org/10.56578/jisc020305>
- [8]. T. Pourseif, M. Mohajeri, Design of robust control for a motor in electric vehicles, IET Electrical Systems in Transportation, 10 (2020) 68-74. <https://doi.org/10.1049/iet-est.2018.5084>
- [9]. L. H. Lân, N. V. Tiêm, Hệ thống điều khiển tuyến tính, NXB GTVT, Hà Nội, 2024.
- [10]. N.P. Petrov, B.T. Polyak, Robust D-partition, Automation and Remote Control, 11 (1991) 41-52.
- [11]. Nguyễn Văn Tiêm, Lê Hùng Lân, Thiết kế bộ điều khiển tốc độ bền vững cho xe lai điện trên cơ sở logic mờ, Tuyển tập báo cáo Hội nghị VCCA 2024, (2024).