

Đánh Giá Khả Năng Phanh Tái Sinh Trên Ô Tô Điện Cỡ Nhỏ Dùng Động Cơ 1 Kw

Nguyễn Đình Hùng*



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

Trường Đại học Bách Khoa (HCMUT),
Đại học Quốc gia TP HCM
(VNU-HCMC), Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Liên hệ

Nguyễn Đình Hùng, Trường Đại học Bách Khoa (HCMUT), Đại học Quốc gia TP HCM (VNU-HCMC), Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: nguyendinhhung@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 10-10-2023
- Ngày sửa đổi: 04-12-2023
- Ngày chấp nhận: 09-11-2024
- Ngày đăng: 26-11-2025

DOI:

<https://doi.org/10.32508/stdjet.v8i4.1279>



Bản quyền

© ĐHQG TP.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



TÓM TẮT

Ngày nay, giải pháp ô tô điện được xem là xu hướng tất yếu để đáp ứng nhu cầu giao thông bền vững trong tương lai. Một trong những hướng nghiên cứu quan trọng là cải thiện quãng đường di chuyển của ô tô điện với cùng một dung lượng pin. Nhiều nghiên cứu tập trung vào tối ưu hóa các hệ thống trên ô tô điện (Battery Electric Vehicles - BEVs) nhằm tăng hiệu suất và khả năng di chuyển. Nổi bật trong số đó là hệ thống phanh tái tạo (Regenerative Braking System - RBS), cho phép thu hồi năng lượng trong quá trình giảm tốc, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng. Bài báo này đánh giá khả năng thu hồi năng lượng của ô tô điện cỡ nhỏ sử dụng động cơ điện không chổi than (Brushless Direct Current - BLDC) công suất 1kW. Cụ thể, nghiên cứu xây dựng mô hình mô phỏng phanh tái sinh và sử dụng dữ liệu thực tế trên băng thử để hiệu chỉnh và tối ưu hóa mô hình. Kết quả mô phỏng cho thấy, khi ô tô di chuyển trên đường phẳng hoặc ở vận tốc trên 10 km/h, việc sử dụng phanh tái tạo giúp tăng hiệu quả khai thác năng lượng đáng kể. Tỷ lệ thu hồi năng lượng đạt từ 5-10% tùy thuộc vào điều kiện vận hành, góp phần kéo dài quãng đường di chuyển mà không cần tăng dung lượng pin. Tuy nhiên, nghiên cứu cũng chỉ ra thách thức liên quan đến tuổi thọ của bộ lưu trữ điện. Khi phanh ở vận tốc cao, cường độ dòng điện tăng đột ngột có thể gây áp lực lớn lên hệ thống pin nếu không có giải pháp quản lý năng lượng hiệu quả. Do đó, cần phát triển các công nghệ điều khiển dòng điện và hệ thống lưu trữ tiên tiến hơn để tối ưu hóa quá trình thu hồi năng lượng, đồng thời bảo vệ độ bền của pin. Những kết quả này mở ra hướng nghiên cứu mới, thúc đẩy sự phát triển của ô tô điện cỡ nhỏ trong tương lai, đáp ứng nhu cầu giao thông đô thị bền vững và hiệu quả.

Từ khóa: phanh tái sinh, ô tô điện cỡ nhỏ, động cơ điện không chổi than

GIỚI THIỆU

Ô tô điện cỡ nhỏ là một giải pháp giảm ô nhiễm môi trường cho các thành phố lớn hiện nay, đặc biệt là các thành phố tập trung dân cư đông đúc. Khi mật độ dân số đông, nhu cầu đi lại của người dân tăng làm tăng thách thức đối với hệ thống giao thông tại các thành phố này. Nếu một hệ thống giao thông đa phân dùng phương tiện dùng nguồn động lực là động cơ đốt trong (ICE) thì mức độ ô nhiễm môi trường cục bộ tại khu vực đó tăng lên¹. Theo A. Ewert *et al*¹ giải pháp hiện nay trên các thành phố lớn nếu ô tô điện cỡ nhỏ (SEV) được dùng rộng rãi ở các thành phố lớn này thì đó sẽ là một lợi thế rất lớn trong bài toán giải quyết ô nhiễm môi trường, tiếng ồn trong dòng giao thông hỗn hợp kết hợp giữa hai nguồn động lực là động cơ đốt trong (ICE) và động cơ điện (EM). Báo cáo doanh số bán ô tô điện trên toàn thế giới của tạp chí EV² sự tăng trưởng ô tô điện gồm ô tô điện thuần túy (BEVs) và ô tô lai (PHEV) trong năm 2022 là 10.522.000 chiếc trong đó tăng trưởng của BEV là 73%. Trong đó doanh số tiêu thụ tại thị trường Trung quốc là 6.181.000 chiếc (tăng trưởng 82% so với

năm 2021), còn thị trường Bắc Mỹ là 1.108.000 chiếc (tăng trưởng 48% so với năm 2021) còn Châu Âu là 2.683.000 chiếc (tăng trưởng 15% so với năm 2021) còn các thị trường khác là 551.000 chiếc (tăng trưởng 89% so với năm 2021). Ngoài ra, các dự báo của ICCT cho thấy ba năm tiếp theo 2023, 2024, 2025 là: 13.395.996, 16.792.181, 20.188.366 chiếc/năm³. Điều này cho thấy, xu hướng tăng trưởng về ô tô điện trong các năm tới thay thế cho ô tô dùng động cơ đốt trong là rất lớn. Các số liệu này cho thấy, xu hướng cải tiến công nghệ trên ô tô điện thuần túy cần phải đi nhanh hơn làm cho ô tô điện hoàn thiện hơn đi được quãng đường xa hơn là một xu hướng tất yếu. Một trong những xu hướng kỹ thuật đó là nghiên cứu, thu hồi các năng lượng trong quá trình phanh là điển hình. Hệ thống phanh tái sinh (RBS) là thu hồi để tái sử dụng lại năng lượng quán tính của ô tô trong quá trình phanh hoặc giảm tốc, giúp tiết kiệm nhiên liệu tăng phạm vi hoạt động và tăng tuổi thọ cho cơ cấu phanh bằng việc giảm tần số hoạt động của phanh cơ khí giảm chuyển mô men phanh từ cơ sang nhiệt. Trên ô tô điện lợi thế lớn nhất là dùng chính động cơ điện của hệ thống

Trích dẫn bài báo này: Hùng N D. **Đánh Giá Khả Năng Phanh Tái Sinh Trên Ô Tô Điện Cỡ Nhỏ Dùng Động Cơ 1 Kw.** *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.* 2025; 8(4):2694-2701.

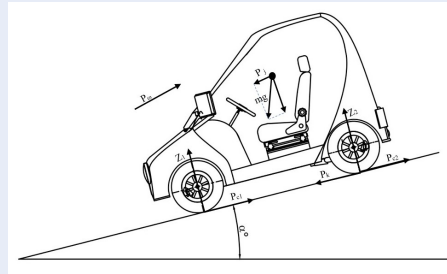
truyền lực làm giảm tốc độ của ô tô⁴. Năng lượng thu hồi lấy từ quá trình giảm tốc sẽ được nạp vào pin. Tuy nhiên, quá trình này phụ thuộc rất nhiều yếu tố:

- Điều kiện di chuyển
- Độ nghiêng mặt đường
- Thời gian phanh
- Lực cản chuyển động

Đối với ô tô điện cỡ nhỏ (SBEVs), chủ yếu dùng để di chuyển trong khu vực dân cư và các khu vui chơi. Vì thế, khi thiết kế giải thuật cho quá trình điều khiển giảm tốc cho ô tô điện cần phải nghiên cứu diễn biến quá trình sinh mô men cản của động cơ điện. Trong bài báo này tập trung nghiên cứu quá trình giảm tốc độ quay có quán tính của động cơ BDLC 1 kw, làm cơ sở đánh giá khả năng thu hồi năng lượng bằng phương pháp phanh tái sinh trực tiếp trên bộ điều khiển của động cơ (vector controllê VC).

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Mô hình tính toán động lực của ô tô.



Hình 1: Động lực học chuyển động ô tô khi xuống dốc

Phương trình lực kéo tổng quát:

$$P_k \geq (P_\omega + P_{c1} + P_{c2} + P_f) \quad (1)$$

trong đó:

- $P_{c1} + P_{c2} = P_f = f(Z_1 + Z_2) \cos \alpha$:: lực cản lăn bánh ô tô trước, bánh ô tô sau;
- P_k : lực kéo tiếp tuyến tại bánh ô tô;
- P_ω : lực cản gió;
- P_f : lực quán tính;

- Nếu bắt đầu thả trôi trên đường bằng, không còn lực kéo tại bánh ô tô $P_k = 0$ mà lực cản lăn P_f và cản gió P_ω và thành phần lực cản từ hệ thống truyền lực Hình 1 lúc này các lực cản đóng vai trò làm giảm tốc ô tô đến khi ô tô dừng lại, và lực quán tính P_j đóng vai trò là kéo làm ô tô chuyển động có thể quy dẫn ($P_k = P_j$).

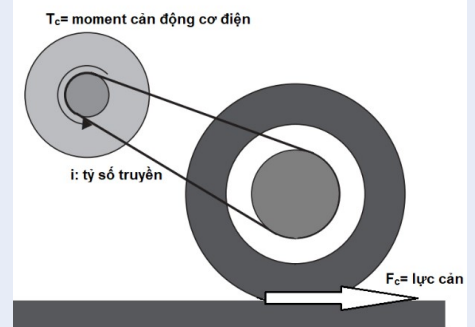
Lúc này (1) có thể viết lại: $(P_\omega + P_f) \leq P_j$

Khi ô tô đứng yên: $(P_\omega + P_f) = P_j = 0$

- Khi ô tô chuyển động xuống dốc với góc nghiêng mặt đường càng lớn ($\alpha \geq 0$) thì P_j tăng.

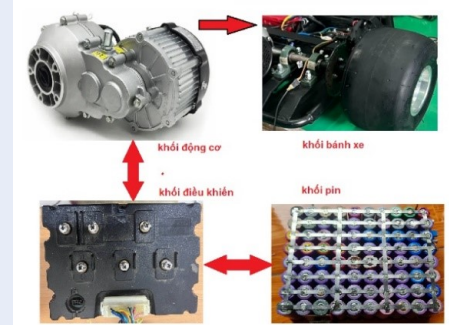
Lúc này (1): $(P_\omega + P_f) < P_j$

Như vậy, đối với trường hợp này để làm giảm chuyển động của ô tô. Có thể dùng hai lực cản, một là lực tác dụng lên bánh ô tô gây ra bởi lực phanh. Hai là, lực cản của động cơ trong hệ thống truyền lực. Trong quá trình phanh, một phần động năng của ô tô chuyển đổi thành nhiệt năng ở cơ cấu phanh cơ khí và do ma sát các cơ cấu truyền động khác. Nếu dùng một phần lực cản tác dụng vào ô tô xuất hiện do cân bằng động cơ điện trên các ô tô điện thì lực cản tạo ra bởi dòng điện chạy trong động cơ là thành phần có lợi đóng vai trò quan trọng trong quá trình chuyển động năng lượng. Thay vì chuyển hoá toàn bộ động năng ô tô về dạng nhiệt năng khi giảm tốc, thì dòng điện tạo ra khi gây cản trên động cơ này có thể dùng để tái tạo, lưu trữ lại Hình 2.



Hình 2: Mô hình tính toán hệ thống phanh tái tạo

Căn cứ vào phương trình chuyển động của ô tô chúng tôi xây dựng mô hình mô hình khảo sát phanh tái tạo của ô tô điện cỡ nhỏ (SBEV) qua Hình 3 như sau:



Hình 3: Mô hình khảo sát phanh tái tạo

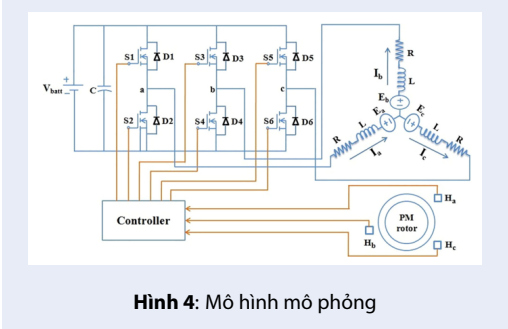
Khối pin là khối cung cấp năng lượng cho ô tô hoạt động, khi năng lượng điện được tạo ra từ động cơ BDLC từ quá trình tái tạo sẽ được lưu trữ trong hệ thống lưu trữ năng lượng của ô tô điện, trong bài báo này chúng tôi chọn là pin ion lithium

Khối động cơ điện là động cơ điện BDLC 1kw cung cấp lực kéo cho bánh ô tô. Trong quá trình phanh tái tạo thì khối này đóng vai trò là máy phát điện tạo ra mô men cản cho bánh ô tô Hình 2 .

Khối điều khiển là hệ thống quản lý điều khiển quá trình chuyển động, quá trình phanh tái tạo bằng động cơ điện. Đảm bảo rằng năng lượng thu được trong quá trình tái tạo từ động cơ được chuyển đổi, lưu trữ một cách hiệu quả, điều chỉnh quá trình phanh tái tạo theo yêu cầu của hệ thống, tình huống lái ô tô.

Khối bánh xe là khối tạo ra chuyển động khi nhận lực kéo từ động cơ điện BDLC, đồng thời kéo động cơ điện khi nhận được mô men quán tính của ô tô.

Xây dựng mô hình mô phỏng quá trình chuyển động của ô tô điện cỡ nhỏ qua Hình 4 với thông số mô hình Bảng 1 .



Hình 4: Mô hình mô phỏng



Hình 5: Động cơ điện BLDC 1 KW

Bảng 2: Thông số kỹ thuật động cơ điện

Công suất (KW)	1
Điện áp định mức (V)	48
Tốc độ tối đa (rpm)	3000
Số cặp cực	4
Liên kết từ thông tối đa (Wb)	0.0175
Góc quay của Rotor cho EMF ngược tối đa (rad)	0.3927
Tự cảm của mỗi pha Stator (H)	0.0001
Điện trở mỗi pha Stator (Ohm)	0.1
Momen quán tính trục quay (kg m/s^2)	0.001
Phương pháp tản nhiệt	Không khí

Bảng 1: Thông số cơ bản ô tô

Tên gọi	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Khối lượng ô tô	M_{xe}	kg	185
Khối lượng người	M_{ngi}	kg	65
Vận tốc của ô tô	V_{max}	Km/h	40
Tốc độ thiết kế tối đa của Motor trên ô tô	ω_{motor}	rpm	3000
Bán kính bánh ô tô	R_w	m	0.210
Tỉ số truyền của hộp số và tỉ số truyền cuối	ig, i_0		5.9

Động cơ điện BDLC Hình 5 dùng trong bài báo này “TCZY 48V1000W XG2112146100” Bảng 2 .

Thông số kỹ thuật của động cơ “TCZY 48V1000W XG2112146100” :

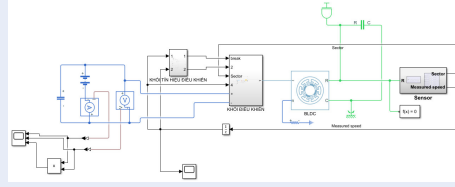
Nghiên cứu mô hình động cơ điện không chổi than (BLDC), bộ điều khiển được xây dựng trên Matlab_Simulink được mô tả như sau:

Quá trình điều khiển tốc độ động cơ theo tốc độ ô tô tham chiếu trong mô hình nghiên cứu, cần phải sử dụng bộ điều khiển PID theo nguyên tắc vòng kín⁵. Hoạt động của hệ thống thực hiện bằng cách đo tốc độ động cơ bằng cảm biến tốc độ hoặc cảm biến vị trí sau đó đưa vào khâu xử lý. Tín hiệu ra sẽ được so sánh với chu trình từ đó quyết định tín hiệu đến khối logic Hình 6 .

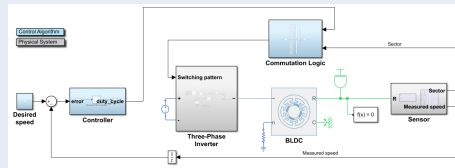
Để bảo đảm các tham số tính toán trong bài toán của mô hình tổn thất cơ khí Hình 7 , bài toán ma sát của hệ phải được đặt vào trong khối liên kết⁶.

Phương trình tính toán khối ma sát được trình bày như sau:

$$T = \sqrt{2e} (T_{brk} - T_c) . exp \left(- \left(\frac{\omega}{\omega_{st}} \right)^2 \right) . \frac{\omega}{\omega_{st}} + T_c . tan h \left(\frac{\omega}{\omega_{coul}} \right) + f \omega (2)$$



Hình 6: Mô hình động cơ (BDLC) và bộ điều khiển



Hình 7: Mô hình động cơ (BLDC) lắp bộ điều khiển PID

trong đó:

T : mô men ma sát;

T_c : mô men ma sát Coulomb;

T_{brk} : mô men ma sát nghỉ;

ω_{brk} : vận tốc ma nghỉ mất tác dụng;

ω_{st} : vận tốc ngưỡng cửa Stribeck ($\omega_{st} = \omega_{brk} \sqrt{2}$)

ω_{coul} : vận tốc ngưỡng vận tốc Coulomb ($\omega_{st} = \omega_{brk}/10$)

ω : vận tốc tương đối của trục quay băng thử và băng thử; ($\omega = \omega_r - \omega_c$)

f : hệ số ma sát nhớt.

Ngoài ra theo phương trình động lực học của trục quay trong quá trình giảm tốc ta có:

$$T = I_{td} \cdot \gamma \quad (3)$$

trong đó :

- T là mô men ma sát tác dụng lên trục quay;

- I_{td} là mô men quán tính quay tương đương của trục quay băng thử;

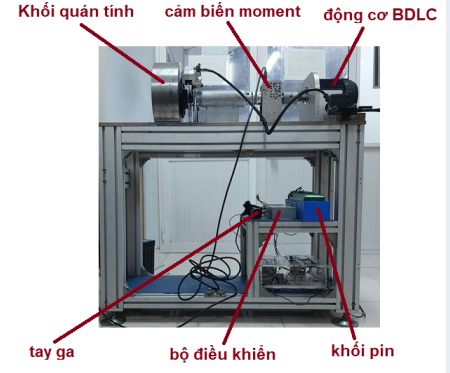
- γ là gia tốc góc trục quay băng thử.

Thay (3) vào (2) chúng ta có thể tìm được hai ẩn số T_c , f của băng thử vào kết quả mô phỏng. Để định chuẩn kết quả nghiên cứu khả năng thu nhận năng lượng của quá trình phanh tái tạo, nhóm nghiên cứu thực hiện xây dựng băng thử Hình 8 để định chuẩn mô hình nghiên cứu như sau:

Khối lượng quán tính của băng thử được tính toán như sau: từ phương trình chuyển động của ô tô (I) ta có:

$$P_k - (P_\omega + P_f + P_j) = ma \quad (4)$$

Trong điều kiện thử nghiệm này nếu $(P_\omega + P_f + P_j) = 0$ vì bỏ qua lực cản gió, nghiêng



Hình 8: Băng thử đánh giá phanh tái tạo

mặt đường và ma sát tại bánh ô tô. Lúc này, phương trình (4) được viết lại như sau:

$$P_k = ma = \frac{M_n i_{og}}{R_\omega} \quad (5)$$

lúc này gia tốc a của ô tô trên băng thử được tính theo gia tốc góc tại trục động cơ như sau:

$$a = \frac{g R_\omega}{i_{og}} \quad (6)$$

Phương trình mô men quán tính (5) được viết lại như sau:

$$M_m = mg \left(\frac{R_\omega}{i_{og}} \right)^2 \quad (7)$$

gọi I_{bt} là mô men quán tính của trục băng thử ta có:

$$M_m = m I_{bt} \quad (8)$$

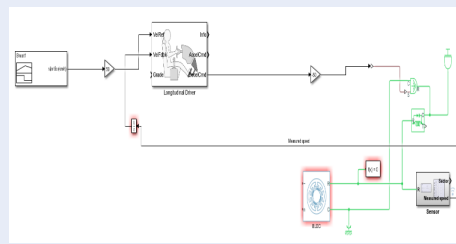
cân bằng mô men giữa băng thử và mô men quán tính của ô tô mô phỏng theo phương trình động năng:

$$A = \frac{1}{2} I_{td} \cdot \omega_{bt}^2 = \frac{1}{2} M_{mp} \cdot v^2 \quad (9)$$

Từ phương trình (9) này ta có thể xác định khối lượng quán tính trên băng thử $I_{td} = 0.3167 \text{ (kg.m}^2\text{)}$.

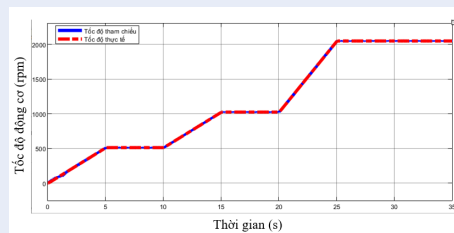
THẢO LUẬN KẾT QUẢ

Quan sát tốc độ động cơ đáp ứng với tốc độ tham chiếu ở các trạng thái thay đổi các thông số đầu vào của mô hình, chúng ta có thể quan sát trạng thái đáp ứng của động cơ điện BLDC với các thông số kỹ thuật Bảng 2, nguồn cung cấp pin Lithium-ion 48(V) có nội trở 0.0002 (Ohm). Khi ô tô hoạt động cơ chế phanh cơ khí trong quá trình mô phỏng của mô hình được xem xét dựa trên nguyên tắc sau, nếu vận tốc của phương tiện lớn hơn vận tốc của chu trình thì sẽ đặt một mô men cản đủ lớn để vận tốc ô tô giảm xuống bằng vận tốc của chu trình. Khi vận tốc ô tô đã bằng vận tốc chu trình, mô men cản được triệt tiêu. Lúc này, khối Longitudinal Driver Hình 9 sẽ so sánh vận tốc của ô tô và vận tốc của chu trình, đầu ra “DecelCmd” cho ra tín hiệu 1 hoặc 0 tương ứng với phanh hoặc không phanh. Trạng thái giảm tốc sẽ được khối Ideal Torque Source đại diện cho mô men cản của phanh cơ khí.



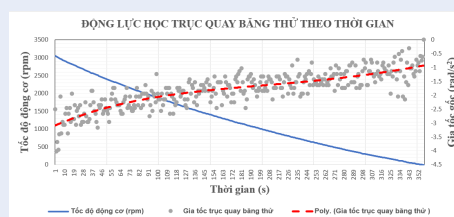
Hình 9: Mô hình Simulink mô tả quá trình phanh

Kết quả cho thấy tốc độ động cơ sau khi qua bộ PID điều khiển đáp ứng với tốc độ tham chiếu trên động cơ thực tế khi thông số trạng thái đầu vào thay đổi Hình 10.



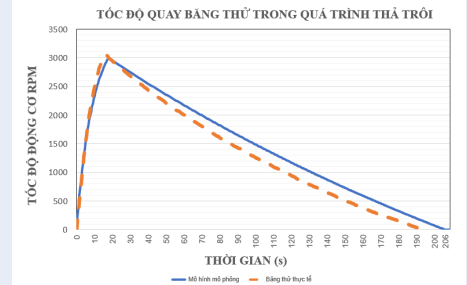
Hình 10: Quan hệ tốc độ và theo thời gian có bộ điều khiển PID

Từ phương trình tính toán khối ma sát (2), bằng phương pháp khảo sát quá trình giảm tốc trên băng thử của phương trình (3) với $T_{brk} = 2$ (Nm) và $\omega_{brk} = 0.2$ (rad) và I_{td} , chúng ta có thể tìm được hai ẩn còn lại là ẩn số T_c , f của phương trình (2).



Hình 11: Động học của trục quay băng thử ở quá trình giảm tốc

Từ đồ thị khảo sát động học Hình 11, xác định γ thay vào (2) tìm được $T_c = 0.3935$ (Nm), $f = 0.0007$ Nm/(rad/s). Kết quả so sánh quá trình thả trôi giữa mô hình mô phỏng và kết quả trên băng thử. Kết quả thả trôi cho đến lúc dừng hẳn của mô hình thực tế là 195s và mô hình mô phỏng là 205s, có lệch biên độ do mô hình thực tế có chịu ảnh hưởng biến



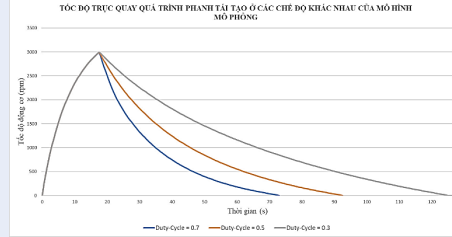
Hình 12: Quá trình tăng tốc, thả trôi của mô phỏng và băng thử

động các tham số kết cấu ổ đỡ và khớp nối. Tuy nhiên, thời gian dừng lại giữa mô phỏng và thực tế lệch không quá 5%. Như vậy, việc mô tả ma sát của trục quay băng thử trong mô phỏng có kết quả gần sát với băng thử thực tế.

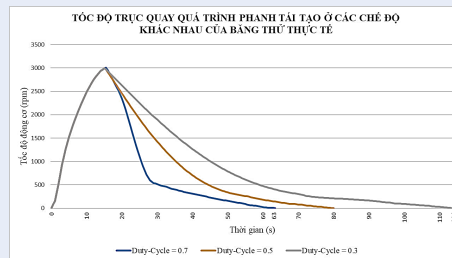
Từ hai kết quả Hình 12 cho thấy kết quả đánh giá giữa mô hình thực tế và mô hình mô phỏng gần như tương tự nhau về tổn thất ma sát. Tuy nhiên, trên mô hình thực có sai lệch nhưng giá trị này không vượt quá 5% điều này có thể chấp nhận được vì trong mô hình mô phỏng thời gian giảm tốc phụ thuộc phương trình (2) tác động khối ma sát. Mặt khác, trong mô hình thực tế các giá trị ma sát ổ đỡ, cản không khí là một phần gây nên sai lệch này.

Kết quả thử nghiệm đánh giá khả năng phanh tái tạo trên mô hình mô phỏng trong $duty_cycle = 0.7, 0.5, 0.3$. Kết quả của quá trình phanh tái tạo ở Hình 13 cho thấy sau quá trình tiêu hao điện khi tăng tốc động cơ thì dòng điện đảo chiều trong quá trình phanh hãm giảm tốc so với kết quả thả trôi Hình 12 tốc độ giảm xuống 0 từ 205s giảm xuống còn 125s, 95s, 73s. Thời gian thu năng lượng tái tạo 19s, hiệu điện thế thu được biến động từ 49...51,5 (V), cường độ dòng điện 19...5 (A). Điều này, chứng tỏ rằng khả năng phanh tái tạo theo lý thuyết là khả thi. Điện áp tạo ra thể hiện tiềm năng sinh ra dòng điện như Hình 13, bằng cách điều khiển thay đổi $duty_cycle$ lớn nhỏ, có thể điều khiển điện áp sinh ra của động cơ dùng cho trường hợp điều khiển điện áp sạc không đổi trong suốt quá trình phanh tái tạo.

Kết quả thử nghiệm đánh giá khả năng phanh tái tạo trên mô hình thực tế trong $duty_cycle = 0.7, 0.5, 0.3$. Kết quả của quá trình phanh tái tạo ở Hình 14 cho thấy sau quá trình tiêu hao điện cho tăng tốc động cơ thì dòng điện đảo chiều trong quá trình phanh hãm giảm tốc kết quả thả trôi Hình 12 tốc độ giảm xuống 0 là 195 s trong khi có hãm là 114 s, 80 s, 65 s. Thời gian thu năng lượng tái tạo 19 s, hiệu điện thế thu được



Hình 13: Kết quả mô phỏng quá trình tăng tốc và phanh hãm với duty_cycle 0.7, 0.5, 0.3



Hình 14: Kết quả đo trên băng thử thực tế quá trình tăng tốc và phanh hãm với duty_cycle 0.7, 0.5, 0.3

biến động từ 49 V – 51 V, cường độ dòng điện giảm từ 18 A xuống 10 A.

Khảo sát quá trình giảm tốc ở chế độ phanh tái tạo của động cơ BLDC 1KW cho thấy rằng, khi vận tốc quay của động cơ giảm dần theo thời gian thì cùng lúc đó cường độ dòng điện sạc cũng giảm theo thời gian. Như vậy, giá trị cường độ dòng điện sạc có xu hướng giảm theo tốc độ động cơ. Mức độ, hiệu quả của chế độ phanh tái tạo trên động cơ BLDC cao nhất khi động cơ ở vận tốc cao, tức là khi phương tiện đang ở vận tốc lớn. Khả năng tái tạo gần như không có hiệu quả ở dây tốc độ thấp. Vì thế, cần phải kết hợp với việc phanh cơ khí trên phương tiện để đảm bảo an toàn. Cường độ dòng điện sạc ở dây tốc độ cao là rất lớn, có thể lớn hơn khả năng chịu đựng của bộ điều khiển. Cần phải đưa ra giải pháp điều khiển hoặc cơ chế bảo vệ để bảo vệ bộ điều khiển và bộ pin lưu trữ, tránh gây ra hỏng hóc hoặc cháy nổ.

Tích phân Hình 12 tốc độ góc theo thời gian cho thấy, miễn giá trị kết quả là tổng diện tích được giới hạn bởi trục hoành và các điểm tiệm cận. Như vậy, phần diện tích giới hạn bởi đường giảm tốc và trục hoành chính là số vòng quay mà động cơ đã quay, tương đương với quãng đường mà ô tô đã di chuyển. Độ lớn của phần diện tích này thể hiện quãng đường mà ô tô đã di chuyển được trong toàn bộ quá trình. Tốc độ của động cơ và dòng điện đi qua pin trong cả quá

trình tăng tốc và phanh tái tạo ở chế độ duty_cycle 0.7 Hình 12 và Hình 13 cho thấy phanh tái tạo có tạo ra dòng điện sạc. Dòng điện này làm tăng SOC của pin, chứng tỏ rằng mô hình mô phỏng phanh tái tạo đánh giá đúng với lý thuyết khi có hiệu chỉnh của các giá trị hiệu chỉnh. Tuy nhiên, cần có phương pháp điều khiển PWM để chia thời gian thu nhận năng lượng trên mô hình. Hình 13 và Hình 14 ở dây tốc độ cao trong mô hình nghiên cứu cần có phương pháp điều khiển PWM tốt hơn thì đường giảm tốc sẽ giảm chậm để cường độ dòng điện đủ đáp ứng với thời gian phanh tái tạo lúc này kết quả thu nhận của quá trình phanh tái tạo sẽ được dài hơn. Cường độ dòng điện đi qua pin trong quá trình phanh tái tạo ngược chiều với chiều xả của pin, tức là pin đang được sạc. Giá trị của dòng điện ngược này thể hiện lượng điện tích đi qua pin trong một khoảng thời gian xác định, hay pin đang được sạc nhanh hay chậm. Đồ thị dòng điện sạc theo thời gian ở chế độ phanh tái tạo trên mô hình nghiên cứu cho thấy giá trị cường độ dòng điện có giá trị cao lúc bắt đầu giảm tốc và giảm về 0 ở cuối giai đoạn giảm tốc.

Để thể hiện độ chính xác trong khả năng thu hồi năng lượng của mô hình mô phỏng phanh tái tạo thực hiện hiệu chỉnh giá trị theo giá trị bằng thử thực tế bằng phương pháp thực hiện tính lượng điện thu hồi lại được ở một chế độ phanh tái tạo. Theo [9] lượng điện thu hồi lại được chính là lượng điện tích dịch chuyển qua pin trong quá trình phanh, được tính bằng công thức:

$$dQ = I \cdot dt \quad (10)$$

trong đó:

- dQ là lượng điện tích dịch chuyển tức thời;
- I là cường độ dòng điện;
- dt là khoảng thời gian đo.

Chọn chế độ phanh với duty_cycle = 0.7 để kiểm nghiệm. Tính tổng lượng điện tích dịch chuyển là tích phân cường độ dòng điện theo thời gian trong quá trình phanh tái tạo cho ra kết quả đối với mô phỏng có giá trị bằng 290424 C và kết quả thực nghiệm có giá trị bằng 203225 C. Kết quả cho thấy lượng điện thu hồi lại được của mô hình mô phỏng và mô hình thực tế có sai lệch 30%. Tuy nhiên, khi xét phương trình điện áp đặt lên 2 đầu pin.

$$U = E + I(r + R) + DU \quad (11)$$

trong đó:

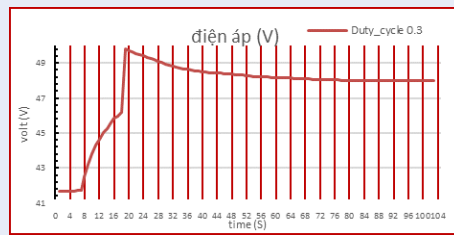
- U là điện áp 2 đặt lên đầu pin;
- E là suất điện động của pin;
- I là cường độ dòng điện đi qua pin;
- r là nội trở của pin;

- R điện trở dây dẫn và các mối nối;
- DU là sụt áp gây ra do các linh kiện điện tử.

Như vậy, cân bằng công suất của dòng điện sạc trong quá trình phanh đạt được là:

$$P = UI = EI + I^2(r + R) + IDU \quad (12)$$

Công suất dòng điện sạc sinh ra trên pin bao gồm 2 phần. Phần EI là công pin lưu trữ được trong quá trình phanh P_{lt} . Phần còn lại là công tổn hao do điện trở và sụt áp gây ra, phần công này thất thoát dưới dạng nhiệt đây chính là nguyên nhân có sự sai lệch trên.



Hình 15: Kết quả đo trên băng giá trị điện áp của phanh tái sinh với duty-cycle 0.3

Điện áp tạo ra ở tốc độ thấp gần như sát với suất điện động của nguồn Hình 15. Do đó, dải vận tốc thấp không có giá trị tái tạo năng lượng, điều này cho thấy khi dùng quá trình phanh tái tạo đối với các ô tô điện cỡ nhỏ với vận tốc nhỏ hơn 10 (km/h) không nên dùng quá trình phanh tái tạo.

KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy điện áp đặt vào nguồn luôn lớn hơn suất điện động của nguồn, dòng điện trả về từ động cơ luôn lớn hơn 0. Điều đó khẳng định rằng phương pháp phanh này đạt được hiệu quả mà không gây ra tổn thất năng lượng trên bộ pin. Tốc độ động cơ càng cao, điện áp tạo ra càng lớn. Điện áp cũng thay đổi theo duty_cycle ở cùng một tốc độ, điện áp tăng dần theo duty_cycle đạt đến mức khoảng 0.7 thì giảm trở lại. Điện áp tạo ra ở tốc độ thấp suất điện động của nguồn duty-cycle 0.3 đây tốc độ động cơ thấp không có giá trị tái tạo năng lượng. Tương ứng với trường hợp trong nghiên cứu, tỉ số truyền của mô hình với tỉ số truyền là 5.9 cho thấy khi thả trôi càng dài với đây tốc độ trên 1050 rpm tương ứng với ô tô chuyển động trên 10 km/h thu hồi năng lượng khi phanh 5-10%. Nhưng khi động cơ hoạt động dưới

1050 rpm tương ứng với ô tô chuyển động nhỏ hơn 10km/h điện áp sinh ra sát với suất điện động của nguồn.

Dòng điện nạp vào pin do động cơ điện sinh ra và quãng đường mà phương tiện đi được trước khi dừng lại hẳn trong quá trình phanh thay đổi tương đối lớn. vì vậy, điều khiển các chế độ phanh tái sinh có thể dùng kết hợp với điều khiển lực phanh của phương tiện, cần có một mô hình kết hợp giữa hệ thống truyền lực xe điện với hệ thống điều khiển phanh của phương tiện trong thực tế mới phát huy khả năng phanh tái tạo của các ô tô điện cỡ nhỏ.

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

RBS: phanh tái sinh,
BEVs: ô tô điện.
BLDC: động cơ điện không chổi than
VC: bộ điều khiển động cơ.
ICE: động cơ đốt trong.
EM: động cơ điện.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Nguyễn Đình Hùng lên ý tưởng, thiết lập mô hình, xử lý số liệu và viết bài báo

LỜI CẢM Ạ

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn trường Đại học bách khoa TP HCM - Đại học quốc gia đã hỗ trợ thiết bị để chúng tôi thực hiện đề tài này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Ewert A, Place G, Sibthorp J. Ewert, Alan, Place, Greg and Sibthorp, Jim, Early-Life Outdoor Experiences and an Individual's Environmental Attitudes. Leis Sci. 2005;27(3):225–39. Available from: <https://doi.org/10.1080/01490400590930853>.
2. EV reporter ; 2023.
3. Mock P, Yang Z. A 2022 update on electric car sales, China taking the lead, the U.S. catching up, and Europe falling behind, International Council on Clean Transportation ICCT; 2022.
4. Hadraoui H, Zegrari, M, Chebak, A, Laayati, O, Huenouni, A Multi-Criteria Analysis and Trends of Electric Motors for Electric Vehicles. World Electr Veh J. 2022;13(4):65. Available from: <https://doi.org/10.3390/wevj13040065>.
5. Yoong MK, Gan YH, Gan GD, Leong CK, Phuan ZY, Cheah BK. Studies of Regenerative Braking in Electric Vehicle.; 2010. Available from: <https://doi.org/10.1109/student.2010.5686984>.
6. Nian X, Peng F, Zhang H. Regenerative Braking System of Electric Vehicle Driven by Brushless DC Motor; 2014. Available from: <https://doi.org/10.1109/TIE.2014.2300059>.

Assessment Of Regenerative Brake On Electric Vehicles Using Motor 1 kw

Nguyen Dinh Hung*



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), Vietnam
National University-Ho Chi Minh City (VNU-HCMC), Ho Chi Minh City, Vietnam

Correspondence

Nguyen Dinh Hung, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), Vietnam National University-Ho Chi Minh City (VNU-HCMC), Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: nguyendinhhung@hcmut.edu.vn

History

- Received: 10-10-2023
- Revised: 04-12-2023
- Accepted: 09-11-2024
- Published Online: 26-11-2025

DOI :

<https://doi.org/10.32508/stdjet.v8i4.1279>



Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



ABSTRACT

Nowadays, electric vehicles (EVS) are considered an inevitable trend to meet the demand for sustainable transportation in the future. A key research focus is enhancing the travel range of EVS without increasing battery capacity. Numerous studies aim to optimise Battery Electric Vehicles (BEVS) systems to improve efficiency and mobility. The Regenerative Braking System (RBS) stands out, enabling energy recovery during deceleration and enhancing energy utilisation efficiency. This paper evaluates the energy recovery potential of small-scale electric vehicles equipped with a 1 kw Brushless Direct Current (BLDC) motor. Specifically, the study develops a regenerative braking simulation model, calibrated with real-world data on a test bench to optimise the model's accuracy. Simulation results indicate that regenerative braking significantly improves energy efficiency when the vehicle operates on flat terrain or at speeds above 10 km/h. Depending on operating conditions, the energy recovery rate ranges from 5-10%, contributing to an extended travel range without requiring larger battery capacity. However, the study also highlights challenges related to the lifespan of the energy storage system. During high-speed braking, sudden increases in current intensity can place considerable stress on the battery if effective energy management solutions are absent. Therefore, there is a need to develop advanced current control technologies and more robust storage systems to optimise energy recovery while ensuring battery durability. These findings pave the way for new research directions, promoting the future development of small-scale electric vehicles. By addressing these challenges, such cars can better meet the demands of sustainable and efficient urban transportation, contributing to a greener and more practical mobility landscape.

Key words: regenerative brake system, small battery electric vehicles, brushless direct current motor

Cite this article : Dinh Hung N. **Assessment Of Regenerative Brake On Electric Vehicles Using Motor 1 kw.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology* 2025; 8(4):2694-2701.