

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG THU HỒI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CẢM TRÊN Ô TÔ

A STUDY ON THE RECOVERY SELF-INDUCTANCE ENERGY IN VEHICLES

Phan Nguyễn Quý Tâm, Đỗ Văn Dũng
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM, Việt Nam

Ngày tòa soạn nhận bài 30/9/2020, ngày phản biện đánh giá 15/10/2020, ngày chấp nhận đăng 02/11/2020

TÓM TẮT

Bài báo đã xây dựng mô hình mô phỏng thu hồi năng lượng dư thừa trên các bộ phận sử dụng cuộn dây như bobine đánh lửa, kim phun, relay và solenoid trên ô tô. Bên cạnh đó, nghiên cứu còn mô phỏng việc thu hồi năng lượng theo các chu trình thực nghiệm như ECE R15 và WLTP Class 3 nhằm đánh giá việc thu hồi năng lượng theo các chế độ chạy khác nhau trên đường. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng việc thu hồi năng lượng trên bobine là lớn nhất so với các thiết bị khác và năng lượng thu hồi đạt cực đại là 1070 J tại tốc độ 3000 vòng/phút và đạt giá trị nhỏ nhất là 470 J ở tốc độ cầm chừng. Tỷ lệ năng lượng thu được trên thời gian của chu trình ECE R15 lớn hơn so với chu trình WLTP Class 3 do khoảng tốc độ động cơ của chu trình này nằm trong khoảng tốc độ tối ưu nhất để thu hồi năng lượng.

Từ khóa: Năng lượng điện cảm; chu trình thử nghiệm; thu hồi năng lượng.

ABSTRACT

The research has built a simulation model that simulates the recovery self-inductance energy in primary coils for ignition system, injectors relays and solenoids in vehicles. In addition, the paper also examined the effects of recovery energy according to the driving cycles test as ECE R15 và WLTP Class. The simulation results show that the recovery self-inductance energy in the primary has the largest value compared to the other devices and the maximum value is about 1070 J at 3000 rpm and the minimum is 470 J at idle speed. The recovery energy for ECE R15 driving cycle test is larger than WLTP Class 3 cycle because the engine speed range of this cycle is suitable for the optimal speed to recovery energy.

Keywords: Self-induced energy system; Driving cycle; Energy recovery.

1. GIỚI THIỆU

Trong quá trình hoạt động, ô tô sử dụng rất nhiều các thiết bị cuộn dây để điều khiển bộ phận chấp hành như: hệ thống đánh lửa, kim phun, các relay và solenoid điều khiển... Các cuộn dây này trong quá trình hoạt động tỏa ra một năng lượng nhiệt gây ra sự quá nhiệt của các cuộn cảm qua đó làm giảm tuổi thọ hoạt động của các thiết bị này. Vì vậy việc thu hồi các năng lượng dư thừa này vừa làm tăng tuổi thọ của thiết bị vừa tích lũy lại một lượng năng lượng cần thiết trên xe, góp phần tận dụng lại nguồn năng lượng tái sinh vừa tiết kiệm năng lượng trong quá trình hoạt động của xe.

Hiện nay có rất nhiều công trình nghiên cứu việc thu hồi năng lượng trên ô tô. Nhóm tác giả Zhijun Guo, Yichao Chen, Study and Simulation of Electromagnetic Energy Recovery for Semi-active Suspension [1] đã nghiên cứu, xây dựng mô hình thu hồi năng lượng và chuyển đổi sang dạng điện cảm trên hệ thống treo, Năng lượng thu hồi được mô phỏng trên Matlab khi xem xét trạng thái ô tô hoạt động ở tốc độ 36 km/h-60 km/h. Kết quả mô phỏng cho thấy năng lượng điện cảm thu hồi tạo ra dòng điện khoảng 1,4 đến 1,53A ở tốc độ trung bình của xe. Tác giả Edward B. Rosa và Louis Cohen [2] nghiên cứu việc tính toán các độ tự cảm của cuộn dây, năng

lượng được lưu trữ trên các thiết bị cuộn cảm cũng như suất điện động tự cảm sinh ra trên cuộn dây. Qua đó có thể tính toán được năng lượng thu hồi của các thiết bị cuộn cảm. Tác giả Ahmet Onur Kiyakli và Hamit Solmaz với công trình Modeling of an Electric Vehicle with MATLAB/Simulink [3], nghiên cứu, mô phỏng mô hình động lực học của một chiếc xe điện theo chu trình NEDC và chu trình WLTP với MATLAB/Simulink. Tác giả Đỗ Quốc Âm và các cộng sự đã nghiên cứu hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung – điện cảm đề cập vấn đề thu hồi năng lượng trên 03 bobine của hệ thống đánh lửa điện cảm để tích lũy cho việc đánh lửa điện dung của 01 xy lanh trong một chu kỳ làm việc [4]. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng việc tích lũy năng lượng điện cảm của 03 xy lanh đủ đánh lửa điện dung cho xy lanh còn lại, hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung – điện cảm hoạt động ổn định ở các chế độ hoạt động khác nhau trên xe. Một công trình nghiên cứu khác của Huỳnh Xuân Thành: xem xét ảnh hưởng của hệ thống đánh lửa Hybrid đến đặc tính của động cơ như công suất, suất tiêu hao nhiên liệu và khí xả trên động cơ [5]. Bài báo cũng đã thực nghiệm các đặc tính động cơ khi sử dụng hệ thống đánh lửa Hybrid ở các chế độ hoạt động khác nhau. Kết quả chỉ ra rằng đặc tính công suất động cơ không thay đổi, trong khi giảm suất tiêu hao nhiên liệu và khí xả trên động cơ khi sử dụng hệ thống đánh lửa Hybrid.

Bài báo sử dụng Matlab/Guide để mô hình hóa mô phỏng việc thu hồi năng lượng trên các thiết bị cuộn cảm như bobine đánh lửa, kim phun, các relay và solenoid điều khiển các bộ chấp hành trên ô tô. Đồng thời nghiên cứu cũng mô phỏng, đánh giá việc thu hồi năng lượng trên các chu trình lái xe khác nhau tương ứng với điều kiện vận hành trong đô thị và cao tốc.

2. MÔ HÌNH HÓA VÀ MÔ PHỎNG

2.1. Tính toán năng lượng điện cảm trên bobine

Năng lượng dự trữ W_{dt} là năng lượng tích lũy dưới dạng từ trường trong cuộn dây sơ cấp của bobine. Năng lượng từ tính này

phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau như thiết kế cuộn dây (cấu tạo, vật liệu của mạch từ,...) và hệ thống điều khiển đánh lửa.

$$W_{dt} = \frac{1}{2} L_b I_{ng}^2$$

$$W_{dt} = \frac{1}{2} L_b \left[\frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{t_{dt}}{\tau}} \right) \right]^2 \quad (1)$$

Trong đó:

- W_{dt} : năng lượng dự trữ trên cuộn sơ cấp (J)
- I_{ng} : cường độ dòng điện qua cuộn sơ cấp lúc transistor công suất ngắt (A)
- L_b : độ tự cảm cuộn sơ cấp bobine (H)
- t_a : thời gian ngậm điện (s)
- τ : hằng số điện từ
- n_g : tốc độ động cơ (vòng/phút)

Các tổn thất trong một cuộn dây đánh lửa được xác định bởi điện trở trong cuộn dây, điện dung tổn thất và tổn thất do độ trễ, cũng như các sai lệch trong thiết kế mạch từ. Hiệu suất của cuộn dây đánh lửa bobine được định nghĩa bằng năng lượng sinh ra trên cuộn thứ cấp so với năng lượng tích lũy trên cuộn sơ cấp bobine. Các cuộn dây đánh lửa ở thế hệ mới được thiết kế để có thể đạt hiệu suất lên đến 80%. Sự chênh lệch về năng lượng này chủ yếu được chuyển thành nhiệt thông qua tổn thất trên điện trở trong cuộn dây và tổn thất về dòng điện, dòng điện là một trong những nguyên nhân chính gây ra sự sụt áp trên cuộn thứ cấp. Điện áp cao ở cuộn thứ cấp thường bị giới hạn bởi sự hạn chế về điện áp sơ cấp trong giai đoạn điều khiển đánh lửa, nơi một phần của năng lượng lưu trữ trong cuộn dây bị tiêu tan dưới dạng nhiệt.

Năng lượng để sinh ra tia lửa điện trên bobine nằm trong khoảng 60÷120 (mJ), tùy thuộc vào thông số bobine. Với hệ thống đánh lửa thông thường năng lượng cần thiết để đánh lửa là 30-50 mJ. Giá trị năng lượng có khả năng thu hồi là hiệu số giữa năng lượng dự trữ và năng lượng cần để sinh ra tia lửa điện và tổn thất nhiệt.

$$\Delta W = W_{dt} - W_f - W_n \quad (2)$$

Trong đó:

- W_n là lượng nhiệt tỏa ra trên cuộn sơ cấp bobine.
- W_{dt} là lượng năng lượng dự trữ
- W_f là lượng năng lượng cần để sinh ra tia lửa điện trên bugi

2.2. Tính toán năng lượng điện cảm trên kim phun

Tương tự trên bobine, năng lượng có khả năng thu hồi trên kim phun được tính toán theo công thức (2) với năng lượng tích lũy trên cuộn dây kim phun:

$$W_{tt} = \int_0^i dW = \int_0^i L_{kp} i di = L_{kp} \frac{1}{2} i^2 \quad (3)$$

Trong đó:

- W_{tt} : năng lượng tích lũy trên kim phun (J)
- L_{kp} : độ tự cảm kim phun (H)
- i : dòng điện qua kim phun (A).

Năng lượng tỏa ra trong quá trình nhắc kim phun:

$$W_n = I^2 R_{kp} t \quad (4)$$

Trong đó:

- W_n : năng lượng tỏa nhiệt trên kim phun (J)
- R_{kp} : điện trở cảm kim phun (Ω)
- t : thời gian nhắc kim (s)

Năng lượng cần thiết cho quá trình nhắc kim:

$$W_f = Fs \quad (5)$$

Trong đó:

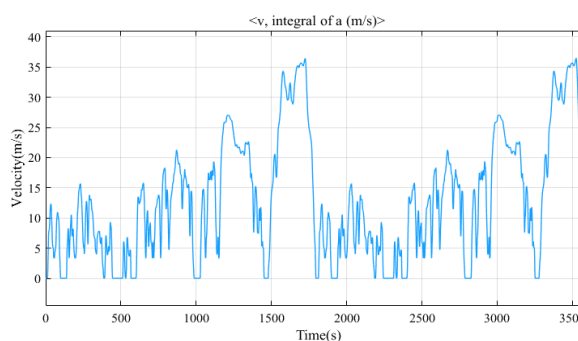
- W_f : năng lượng cần thiết để nhắc kim (J)
- F : Lực từ nhắc kim (N).
- s : khoảng cách từ đầu ty kim đến bộ khi kim nhắc hoàn toàn khoảng 0,0001 (m)

Tương tự việc tính toán năng lượng có khả năng thu hồi trên relay và solenoid cũng được tính toán dựa vào năng lượng tích lũy, năng lượng tỏa nhiệt và năng lượng cần thiết cho quá trình điều khiển các cuộn dây của relay và solenoid.

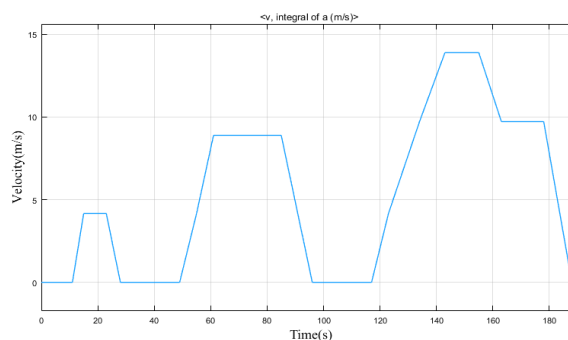
2.3. Mô phỏng chu trình thử nghiệm

Để mô phỏng chu trình chạy thử trong môi trường Matlab/Simulink, hiện nay Matworks cũng đã hỗ trợ người dùng một thư viện mở rộng Drive Cycle được tải từ trang chủ của MathWorks.

Khối Drive Cycle cung cấp dữ liệu của chu trình chạy thử được sử dụng trong nhiều ứng dụng của ô tô, đầu ra là giá trị chuyển vị, gia tốc và vận tốc. Người dùng có thể chọn nhiều chu trình chạy thử từ danh sách cho trước. Để phù hợp với việc đánh giá khả năng thu hồi năng lượng điện cảm, bài báo này sử dụng hai chu trình phổ biến là WLTP CLASS 3 mô phỏng xe ở dãy tốc độ cao, đại diện cho khả năng thay đổi vận tốc liên tục của xe tương ứng với chế độ chạy trong đồ thị Hình 1 và ECE R15 mô tả quá trình duy trì một vận tốc nhất định trong khoảng thời gian dài, đặc trưng cho điều kiện chạy trên cao tốc Hình 2.



Hình 1. Chu trình WLTP CLASS 3

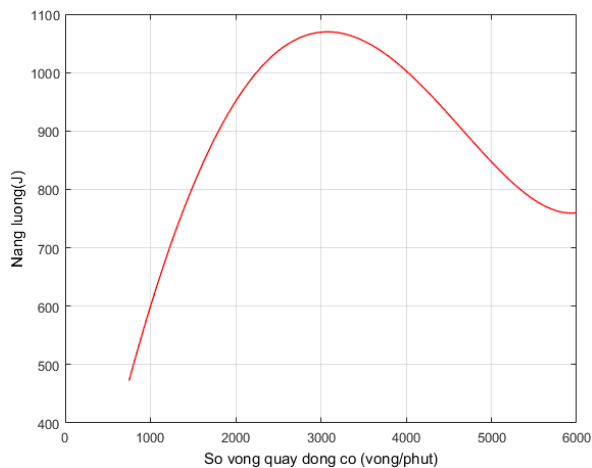


Hình 2. Chu trình ECE R15

3. KẾT QUẢ MÔ PHÒNG

3.1. Năng lượng được thu hồi trên bobine

Kết quả mô phỏng năng lượng có khả năng thu hồi trên 4 bobine được thể hiện trên Hình 3. Trong việc xem xét ảnh hưởng của việc thu hồi năng lượng từ bobine thì tốc độ động cơ là một yếu tố quan trọng. Khi tốc độ động cơ thay đổi số xung đánh lửa sinh ra và thời gian tăng trưởng của dòng sơ cấp thay đổi làm cho các giá trị năng lượng bị ảnh hưởng. Đối với đồ thị năng lượng có khả năng thu hồi trên 04 bobine có thể nhận xét được sơ bộ về sự ảnh hưởng của các yếu tố kể trên đối với năng lượng thu hồi được, qua đó đánh giá được khả năng thu hồi năng lượng tối ưu trên bobine ở từng thời điểm khác nhau.



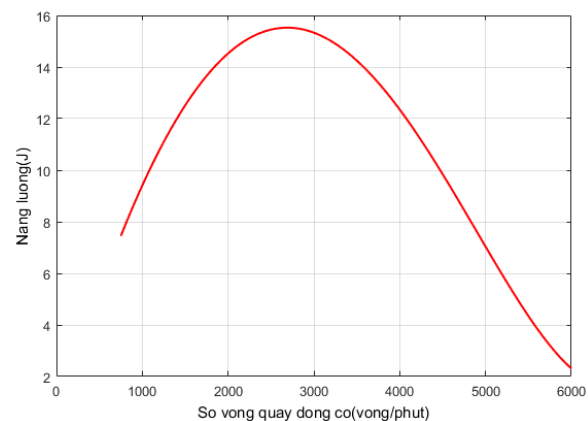
Hình 3. Đồ thị năng lượng có khả năng thu hồi ở 04 bobine ở các tốc độ động cơ khác nhau.

Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng năng lượng có khả năng thu hồi trên 04 bobine là một đường cong theo tốc độ động cơ với giá trị cực đại đạt là 1070 J tại tốc độ 3000 vòng/phút, đây là một dải tốc độ hoạt động phổ biến trên động cơ xe ô tô. Ở tốc độ 750 vòng/phút, năng lượng thu được là khá thấp chỉ khoảng 470 J do ở khoảng tốc độ này tuy cường độ dòng điện trên cuộn sơ cấp khá lớn nhưng không nhiều số xung sinh ra để điều khiển đánh lửa. Khi tốc độ động cơ tăng lên khoảng 6000 vòng/phút, số xung đánh lửa sinh ra theo chu kỳ nhiều song do thời gian ngậm điện nhỏ nên cường độ dòng điện chỉ tăng trưởng đến một giá trị nhất định và năng lượng thu được chỉ khoảng 760 J.

Từ đồ thị và số liệu tính toán cho thấy được để tối ưu năng lượng có khả năng thu hồi trên bobine, cần phải duy trì tốc độ xe ở một giá trị nhất định, trong trường hợp này là 3000 vòng/phút, trong các nghiên cứu về suất tiêu hao nhiên liệu trên xe ô tô ở khoảng tốc độ 2000-3000 vòng/phút xe tiêu tốn nhiên liệu ít nhất, điều này hoàn toàn phù hợp với điều kiện thử nghiệm thực tế trên xe.

3.2. Năng lượng được thu hồi trên kim phun

Tương tự như năng lượng thu hồi được trên bobine, nghiên cứu đã xem xét khả năng thu hồi năng lượng trên kim phun ở các tốc độ khác nhau. Kết quả mô phỏng thể hiện trên Hình 4. Kết quả mô phỏng cho thấy rằng giá trị năng lượng thu được đạt giá trị cực đại là 15,2 J tại tốc độ khoảng 2700 vòng/phút và sau đó giảm dần xuống 2,3 J khi tốc độ động cơ là 6000 vòng/phút. Từ đồ thị, nhận thấy rằng: năng lượng có khả năng thu hồi trên kim phun nhỏ hơn rất nhiều so với bobine do tốc độ tăng trưởng và giá trị cường độ dòng điện cực đại của kim phun khá thấp chỉ khoảng 0,46 A so với của bobine 7 A ở cùng chế độ hoạt động.



Hình 4. Đồ thị năng lượng có khả năng thu hồi ở 04 kim phun ở các tốc độ động cơ khác nhau.

3.3. Năng lượng được thu hồi trên relay và solenoid

Năng lượng có khả năng thu hồi trên relay và solenoid phụ thuộc chủ yếu vào số relay và solenoid trên ô tô được tiến hành khảo sát cũng như số lần đóng ngắt của các thiết bị trên trong một khoảng thời gian nhất định. Trong bài báo này qua khảo sát sự đóng

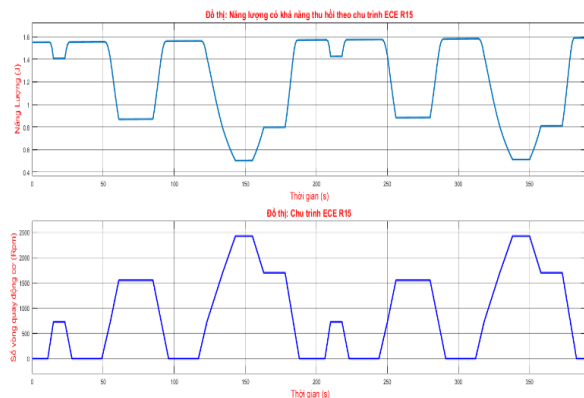
ngắt của relay và solenoid trên ô tô khoảng thời gian một phút thay đổi từ 100-500 lần trong quá trình vận hành của ô tô. Khi tăng số lần đóng ngắt của relay và solenoid trên xe thì tỉ lệ thuận với năng lượng thu hồi. Kết quả thu hồi năng lượng trên relay và solenoid trên ô tô được thể hiện trong Bảng 1

Bảng 1. Năng lượng thu hồi trên relay và solenoid

Số lần đóng ngắt (lần)	Relay W_{rl} (J)	Solenoid W_{sl} (J)
100	0,46	1,23
200	0,91	2,45
300	1,37	3,68
400	1,82	4,91
500	2,28	6,14

3.4. Năng lượng thu hồi theo chu trình thử nghiệm

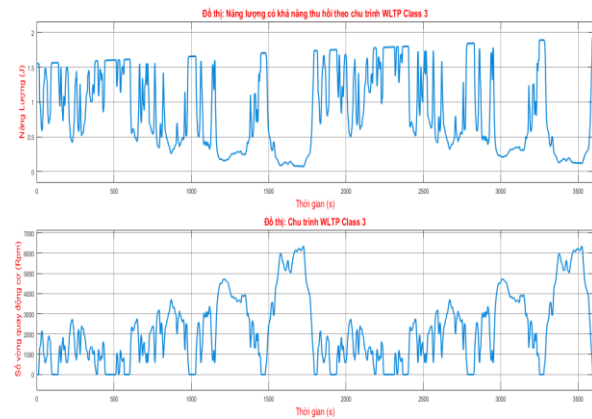
Để xem xét việc thu hồi năng lượng của xe chạy trên đường. Nghiên cứu đã thực hiện mô phỏng chạy trên các chu trình thử nghiệm theo tiêu chuẩn Châu Âu bao gồm ECE R15 và WLTP Class 3 tương ứng với các chế độ chạy trên cao tốc và thành phố, kết quả mô phỏng được thể hiện trên Hình 5 và Hình 6.



Hình 5. Năng lượng có khả năng thu hồi và tốc độ động cơ theo chu trình thử nghiệm ECE R15

Dựa vào đồ thị trên ta thấy được sự thay đổi của năng lượng theo tốc độ động cơ, tốc độ động cơ càng thấp thì năng lượng thu được càng cao nhờ vào thời gian tích lũy năng lượng trên cuộn sơ cấp dài. Giá trị năng

lượng thay đổi trong khoảng 0,5-1,6J, tổng năng lượng thu được trong chu trình này là 472J.



Hình 6. Năng lượng có khả năng thu hồi và tốc độ động cơ theo chu trình thử nghiệm WLTP CLASS 3

Chu trình thử nghiệm WLTP Class3 mô phỏng theo tiêu chuẩn Châu Âu với dải tốc độ động cơ lớn từ 0-6000 vòng/phút, thay đổi một cách liên tục theo nhiều chế độ khác nhau: cảm chừng, tăng tốc, giảm tốc... trong thời gian 3600 giây. Ở khoảng tốc độ động này giá trị năng lượng thay đổi trong khoảng 0,1-1,9 J, tổng năng lượng thu được trong chu trình này là 3145 J.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng mô hình thu hồi năng lượng tự cảm trên các thiết bị bobine, kim phun, các relay và solenoid trên ô tô ở các tốc độ khác nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy rằng việc thu hồi năng lượng trên các thiết bị cuộn dây phụ thuộc vào tốc độ động cơ. Năng lượng thu hồi được trên bobine đánh lửa là lớn nhất so với các thiết bị điện cảm khác: năng lượng đạt giá trị cực đại là 1070 J tại số vòng quay 3000 vòng/phút và đạt giá trị nhỏ nhất là 470 J ở tốc độ cảm chừng. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng xem xét sự thu hồi năng lượng ở các chu trình thử nghiệm khác nhau. Tỉ lệ năng lượng thu được trên thời gian của chu trình ECE R15 lớn hơn so với chu trình WLTP Class 3 do khoảng tốc độ động cơ của chu trình này nằm trong khoảng tốc độ tối ưu nhất để thu hồi năng lượng và chu trình này cũng phù hợp với điều kiện thực tế thử nghiệm trên xe.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Zhijun Guo ,Yichao Chen, *Study and Simulation of Electromagnetic Energy Recovery for Semi - active Suspension*, International Forum on Energy, Environment Science and Materials (IFEESM), 2017.
- [2] Edward B. Rosa and Louis Cohen, *Formule and Tables for the calculation of mutual and self-inductance*, 57-60, 2017.
- [3] Ahmet Onur Kiyakli, Hamit Solmaz, *Modeling of an Electric Vehicle with MATLAB/Simulink*, International Journal of Automotive Science And Technology, vol. 2, no:4, 9-15, 2018.
- [4] Đỗ Quốc Âm, *Nghiên cứu, tính toán, chế tạo hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung – điện cảm sử dụng bo-bin đơn*, 81-87, 2019.
- [5] Huỳnh Xuân Thành, *Thực nghiệm đánh giá khả năng tích lũy năng lượng trên hệ thống đánh lửa Hybrid*, 49-83, 2018.

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

Phan Nguyễn Quý Tâm

Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật Tp. HCM.

Email: tamnq@hcmute.edu.vn