

THIẾT KẾ THỰC NGHIỆM HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN XUPÁP BẰNG ĐIỆN TỬ TRÊN ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG

Nguyễn Phạm Huỳnh Anh, Lê Minh Thuấn, Trần Quân Em
 Trường Cao đẳng nghề Cần Thơ

Tóm tắt: Việc nghiên cứu phát triển và ứng dụng công nghệ mới đang là xu hướng chung của nhiều hãng sản xuất ô tô trên thế giới nhằm tiết kiệm nhiên liệu và giảm ô nhiễm môi trường. Giải pháp tối ưu nhất đó là việc điều khiển mô men xoắn phù hợp với từng điều kiện hoạt động khác nhau nhằm cải thiện mức tiêu thụ nhiên liệu trong động cơ. Điều này được thực hiện bằng phương pháp ngắt một số xi lanh, do đó mang lại nhiều ưu điểm trong việc cải thiện khí thải và suất tiêu hao nhiên liệu ở các dải tải trọng khác nhau trong động cơ xăng. Nghiên cứu đề xuất thiết kế cơ cấu điều khiển xupáp được cải tiến từ cơ cấu phân phối khí truyền thống. Trên thiết kế đề xuất có thể ngắt 1 hoặc 2 xi lanh phụ thuộc vào các chế độ hoạt động của xe.

Từ khóa: Điều khiển xi lanh chủ động (CDA); tải động cơ; hệ thống điều khiển xupáp; khí thải.

EXPERIMENTAL DESIGN OF AN ELECTROMAGNETIC VALVE CONTROL SYSTEM FOR AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Abstract: Research, development, and application of advanced technologies have become a common trend among automotive manufacturers worldwide to improve fuel economy and reduce environmental pollution. An optimal approach is to control engine torque according to varying operating conditions in order to enhance fuel efficiency. This objective can be achieved through cylinder deactivation (CDA), a technology that offers significant advantages in reducing exhaust emissions and improving brake specific fuel consumption (BSFC) across different load ranges in spark-ignition (SI) engines. The present study proposes the design of an improved valve actuation mechanism derived from a conventional valvetrain system. The proposed design enables selective deactivation of one or two cylinders depending on the vehicle's operating modes, thereby improving overall engine efficiency and reducing fuel consumption under partial-load conditions.

Keywords: electromagnetic valve (EMV); engine load; valve train system; emissions.

Nhận bài: 06/01/2026

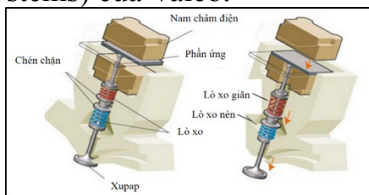
Phản biện: 05/02/2026

Duyệt đăng: 09/02/2026

I. TỔNG QUAN

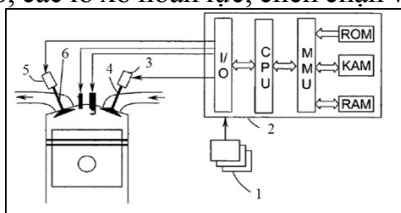
1.1. Giới thiệu về hệ thống điều khiển xupáp bằng điện tử

Phát minh tiền thân cho công nghệ xupáp điện tử là hệ thống EVA (Electro-magnetic Valve Actuator Systems) của Valeo.



Hình 1: Hệ thống EVA (Electro-magnetic Valve Actuator Systems) của Valeo.

Cấu tạo cơ cấu chấp hành gồm nam châm điện (electromagnet) được đặt phía trên đỉnh xupáp, miếng sắt từ đóng vai trò phân ứng được kết nối với đuôi xupáp, các lò xo hoàn lực, chén chặn và xupáp



Hình 2: Cấu trúc hệ thống EVA.

1-Tín hiệu từ các cảm biến. 2- ECU. 3- Bộ chấp hành. 4- Xupáp nạp. 5- Bộ chấp hành xupáp xả. 6- Xupáp xả.

Hệ thống sử dụng các nam châm điện 3 và 5 để đóng mở xupáp 4 và 6. Tín hiệu nhập vào từ các cảm biến 1 thông qua mạch giao tiếp nhập/ xuất như vị trí piston, tốc độ động cơ, tốc độ xe, nhiệt độ nước làm mát, áp suất khí nạp ... ECU liên tục nhận tín hiệu từ các cảm biến sau đó tính toán thời gian và độ nâng xupáp tối ưu để điều khiển bộ chấp hành nam châm điện. Sự chính xác của tín hiệu đầu vào là rất quan trọng để động cơ hoạt động hiệu quả.

1.2. Nguyên lý hoạt động hệ thống điều khiển xupáp bằng điện tử

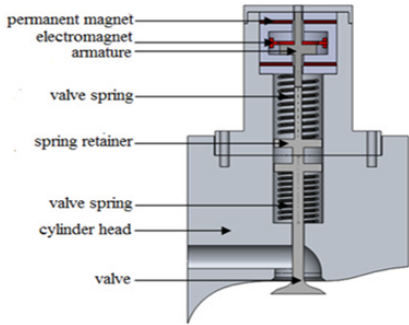
Cơ cấu EVA (Electro-magnetic Valve Actuator) sử dụng lực hút điện từ của nam châm và lực điện từ được tạo ra từ các cuộn dây cảm biến để điều khiển hoạt động đóng mở của xupáp chứ không phải là trục cam dẫn động như các loại động cơ truyền thống.

Khi nam châm điện phía trên được kích hoạt sẽ tạo ra một lực từ trường hút miếng sắt phân ứng lên trên làm cho xupáp ở vị trí đóng.

Khi từ tính do nam châm điện phía trên bị ngắt, miếng sắt phân ứng kết nối với đuôi xupáp sẽ bị kéo xuống bởi lò xo. Bộ chấp hành nam châm điện phía dưới sẽ duy trì xupáp ở vị trí mở.

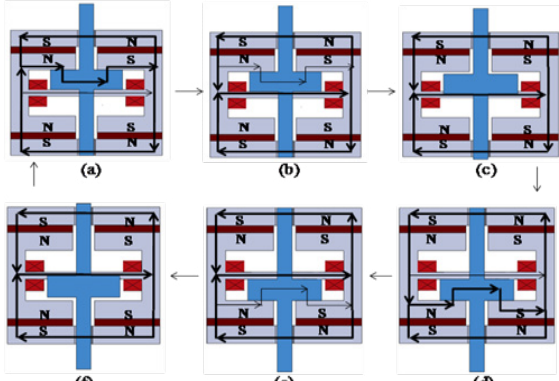
II. THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN XUPÁP BẰNG ĐIỆN TỬ

2.1. Nguyên lý hoạt động của EVA



Hình 3: Kết cấu của EVA dùng nam châm.

Kết cấu của EMV dùng bộ nam châm được thể hiện trên hình 3. Kết cấu bao gồm 4 nam châm (2 nam châm phía trên và 2 nam châm phía dưới), một cặp cuộn dây điện từ, armature, 2 lò xo và thân xupáp.



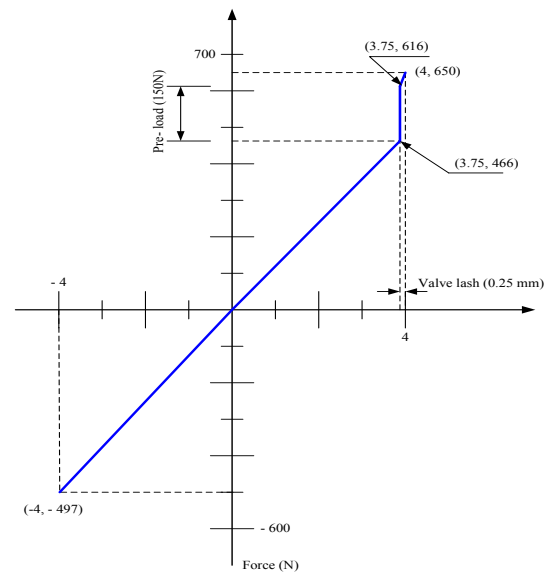
Hình 4: Nguyên lý hoạt động của EVA.

Khi chưa cấp dòng điện cho cuộn dây, lực từ của 2 nam châm phía trên lớn hơn lực lò xo nên hút armature lên phía trên và làm cho xupáp đóng lại hoàn toàn hình 4 (a). Khi cấp điện cho 2 cuộn dây điện từ, từ thông qua cuộn dây tăng lên đáng kể. Vì thế, từ thông qua armature giảm xuống như thể hiện trên hình 4 (b) làm cho lực từ giữ armature cũng giảm xuống. Đến khi lực lò xo phía trên lớn hơn lực giữ armature do 2 nam châm phía trên tạo ra, lực lò xo sẽ đẩy armature đi xuống làm cho xupáp bắt đầu mở như hình 4 (c). Khi armature vượt qua vị trí trung gian thì cuộn dây sẽ được ngắt điện và lực từ của nam châm phía dưới sẽ hút armature đi xuống vị trí dưới cùng là cho xupáp mở hoàn toàn minh họa trên hình 4 (d). Tương tự như vậy khi xupáp di chuyển từ dưới lên trên được thể hiện trong hình 4 (e) để hình 4 (a).

2.2. Thiết kế xupáp điện từ (EVA)

Lò xo xupáp là một bộ phận quan trọng trong cơ cấu xupáp điện từ (EVA). Lò xo trong xupáp

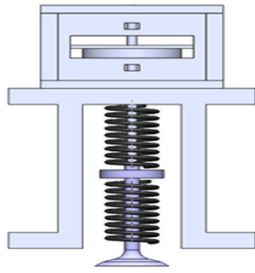
phải tích trữ một năng lượng đủ lớn khi lò xo nén lại và nhanh chóng giải phóng khi giãn ra để có thể điều khiển xupáp đóng mở một cách nhanh chóng. Khi động cơ hoạt động ở tốc độ cao, lực lò xo phải có giá trị đủ lớn để thắng được lực từ của nam châm và đóng mở xupáp tức thời. Do đó thiết kế lò xo trong xupáp điện từ phải có momen quán tính rất nhỏ và độ đàn hồi rất cao để có thể đáp ứng được tức thời việc đóng mở xupáp đúng thời điểm khi tốc độ động cơ cao. Trên hình 5 cho ta thấy tải trọng ban đầu đặt vào là 150N và khe hở nhiệt của xupáp là 0.25 mm. Năng lượng tích trữ của lò xo phía trên là 497 N khi xupáp ở vị trí mở và 650 N cho lò xo phía dưới khi xupáp ở vị trí đóng.



Hình 5: Lực lò xo và khoảng dịch chuyển của armature.

2.3. Thiết kế armature và thân xupáp

Armature và xupáp đóng một vai trò rất quan trọng trong việc điều khiển sự đóng và mở của hệ thống EVA. Nó điều khiển thời điểm của xupáp giống như trục cam và xupáp trong động cơ thông thường. Xupáp tiếp xúc trực tiếp với buồng đốt nhiên liệu có nhiệt độ cao. Vì vậy, xupáp chịu ảnh hưởng của sự giãn nở nhiệt. Có một khe hở tồn tại giữa armature và xupáp để bù đắp cho sự giãn nở nhiệt tại vị trí đóng. Armature và xupáp trong hệ thống xupáp điện từ được thiết kế theo những yếu tố ảnh hưởng như: khối lượng, kích thước và sự phân bố của các lực từ. Khối lượng của xupáp điện từ được thiết kế phụ thuộc vào những hạn chế của sự chuyển động cân bằng khối lượng. Trong khi đó, kích thước của armature và xupáp chịu sự ảnh hưởng của sự giãn nở nhiệt. Cấu tạo của armature và xupáp của xupáp điện từ được biểu diễn trong hình 6.



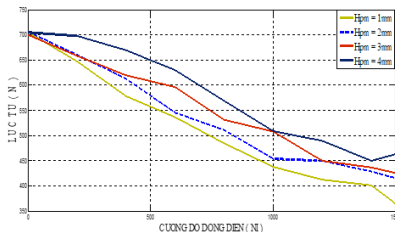
Hình 6: Cấu tạo của armature và xupáp trong hệ thống xupáp điện từ.

Armature trong hệ thống xupáp điện từ được thiết kế theo sự nghiên cứu của lực từ. Lực hút dùng để hút armature tới vị trí trên hoặc dưới của lõi thép được tạo ra bởi các nam châm. Kích thước armature được quyết định bởi mật độ từ thông đi qua nó. Thông thường, lực hút được sinh ra bởi mật độ từ thông, xảy ra ở trạng thái bão hòa.

III. THỰC NGHIỆM MÔ PHỎNG

3.1. Nam châm

Nam châm sinh ra lực từ tức thì trên armature. Bởi vậy, nó quyết định lực từ sinh ra đó có thể thắng được lực lò xo để giữ xupáp ở vị trí đóng và mở. Ở thiết kế này, nam châm bao gồm 4 cái: 2 cái nam châm ở phía trên để giữ armature ở vị trí đóng và 2 nam châm ở phía dưới để giữ armature ở vị trí mở. Hình dạng nam châm có dạng hình tròn (hình 6) vì hình dạng này có nhiều lợi ích hơn so với các hình dạng khác. Đặc tính nam châm phụ thuộc vào nhiệt độ do ảnh hưởng của hiện tượng khử từ. Tính năng của nam châm giảm xuống ở nhiệt độ cao, do vậy, lực từ trong thiết kế xupáp điện từ chịu ảnh hưởng của nhiệt độ. Tác động của độ dày nam châm đến lực từ được thể hiện ở hình 8.

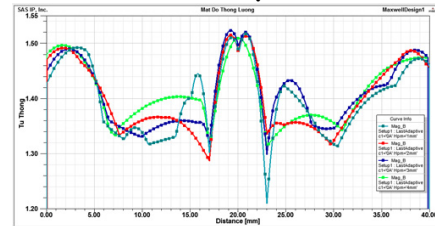


Hình 7: Ảnh hưởng của độ dày nam châm đến lực từ.

Giá trị của độ dày nam châm tại $H_{pm} = 2 \text{ mm}$ là tối ưu nhất so với các trường hợp khác vì khi cuộn dây chưa được cấp dòng điện thì lực giữ có giá trị cao và khi cuộn dây được cung cấp dòng điện thì lực giữ có giá trị thấp. Tại giá trị cường độ dòng điện 0 NI thì giá trị lực từ khoảng 710 N vượt quá giá trị lực của lò xo, do vậy xupáp được giữ ở vị trí đóng và mở. Khi cung cấp dòng điện cho cuộn dây thì giá trị lực từ giảm xuống, ở giá trị cường độ dòng điện 1500 NI giá trị lực từ

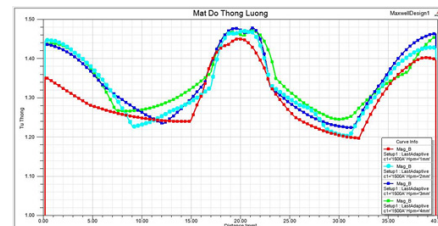
còn khoảng 420 N. Giá trị này nhỏ hơn lực lò xo và kết quả là xupáp được tách ra khỏi vị trí đóng hoặc mở.

Sự phân bố mật độ thông lượng cũng được phân tích bởi FEA (Finite Element Analysis) với dòng cung cấp tại 0 NI và 1500 NI tương ứng. Kết quả thể hiện mật độ thông lượng đó qua armature với tất cả trường hợp là hầu như tại trạng thái bão hòa khi cuộn dây không được kích thích (hình 8). Do vậy, tất cả trường hợp độ dày của nam châm đạt lực từ cao nhất lớn hơn lực lò xo.



Hình 8: Sự phân bố thông lượng trên armature với độ dày nam châm khác nhau tại 0 NI.

Mật độ từ thông chưa đạt tới độ bão hòa lúc này khi cuộn dây được cung cấp bởi dòng điện mong muốn. Do vậy, lực từ trên armature sẽ giảm. Khi dòng điện được cung cấp cho cuộn dây, dòng từ có xu hướng đi qua lõi cuộn dây rất dễ dàng điện từ cuộn dây sẽ trở thành nam châm điện. Dòng từ của nam châm có độ dày 2 mm giảm nhiều hơn so với các trường hợp khác như thể hiện trong hình 9. Do đó, giá trị của sự giảm lực so với các trường hợp khác là lớn. Do vậy, giá trị độ dày của nam châm tại 2 mm là tối ưu nhất cho thiết kế xupáp điện từ.



Hình 9: Sự phân bố thông lượng trên armature với độ dày nam châm khác nhau tại 1500 NI.

Trong bài viết này, bán kính của nam châm cũng được phân tích. Bán kính nam châm có giá trị lớn hơn 13.5 mm sẽ không được xem xét do khoảng không gian giới hạn của kết cấu xupáp điện từ. Ảnh hưởng của bán kính nam châm đến lực từ được thể hiện ở hình 10. Kết quả cho thấy giá trị của lực từ và sự giảm lực ở $R_{pm} = 10.5 \text{ mm}$ là thấp nhất so với các trường hợp khác. Do vậy, thông số tối ưu của bán kính nam châm nằm trong khoảng 11.5 ~13.5 mm. Ta có thể thấy các đường có sự giống nhau về lực giữ khi cuộn dây được kích thích và không kích thích. Do đó, ảnh hưởng

của những giá trị bán kính này đến lực từ là không đáng kể trong khoảng 11.5 ~13.5 mm.

3.2. Armature

Kích thước armature trong thiết kế xupáp điện từ bao gồm độ dày và bán kính của armature. Nó ảnh hưởng trực tiếp đến dòng từ trên armature. Bán kính và độ dày của armature có liên quan đến diện tích tiếp xúc giữa armature và lõi thép. Do vậy, nó quyết định trạng thái bão hòa trong thiết kế xupáp điện từ. Trong phần này, bán kính armature được khảo sát trong khoảng 19 ~22 mm và độ dày armature là từ 8 ~12mm. Trong khi đó, thông số của cuộn dây điện từ và nam châm armature có giá trị tối ưu. Sự khảo sát được thực hiện ở 0 NI và 1500 NI để tìm ra thiết kế armature tối ưu nhất. Ảnh hưởng của bán kính armature đến lực từ được thể hiện ở hình 11. Kết quả cho thấy armature có bán kính 20 mm là tối ưu nhất. Nó có lực giữ cao nhất đạt 719 N tại 0 NI và giảm xuống còn 415 N tại 1500 NI. Trong khi đó, các bán kính của armature khác có lực giữ và lực giảm sút là không thể thỏa mãn tính năng cần thiết của các tiêu chuẩn xupáp điện từ.

Ảnh hưởng của đường kính armature đến mật độ thông lượng cũng được đưa ra bởi FEA. Kết quả được thể hiện ở hình 10. Tương ứng với dòng tại 0 NI và 1500 NI. Armature có bán kính tại 21 mm và 22 mm có mật độ thông lượng thấp. Do vậy, nó có lực giữ nhỏ so với các trường hợp khác. Khi cuộn dây được cung cấp dòng điện mong muốn, mật độ thông lượng giảm. Mật độ thông

lượng của armature có bán kính ở 21 mm và 22 mm là giảm đáng kể, do vậy chúng có giá trị thấp. Tuy nhiên, nó không thể còn thỏa mãn những giá trị cần thiết của lực từ. Trong khi sự giảm mật độ thông lượng của armature có bán kính 19 mm là nhỏ, do vậy nó không thể thỏa mãn lực giảm sút cần thiết. Giá trị bán kính tối ưu của armature là 20 mm, mật độ thông lượng là giảm đáng kể ở 1500 NI. Do vậy, nó sinh ra lực từ nhỏ hơn lực của lò xo. Cho nên, xupáp điện từ có thể hoạt động hoàn toàn ở bán kính đó.

III. KẾT LUẬN

Bài viết đã thể hiện sự nghiên cứu về cấu tạo, nguyên lý hoạt động của hệ thống xupáp điều khiển bằng điện từ. Trong quá trình nghiên cứu và thực nghiệm cho thấy hệ thống hoàn toàn phù hợp với điều kiện hoạt động thực tế của động cơ, góp phần giảm tiêu hao nhiên liệu, giảm lượng khí thải ra môi trường và đặc biệt giúp giảm tiếng ồn trong quá trình hoạt động.

Kết quả thực nghiệm cho thấy giá trị của độ dày nam châm tại $H_{pm} = 2$ mm là tối ưu nhất so với các trường hợp khác vì khi cuộn dây chưa được cấp dòng điện thì lực giữ có giá trị cao và khi cuộn dây được cung cấp dòng điện thì lực giữ có giá trị thấp.

Trong khi đó, bán kính armature được khảo sát trong khoảng 19 ~22 mm và độ dày armature là từ 8 ~12mm thông số của cuộn dây điện từ và nam châm armature có giá trị tối ưu nhất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- PGS-TS. Đỗ Văn Dũng, *Trang bị điện và điện tử trên ô tô hiện đại*, NXB Đại học Quốc Gia – 2013.
- Yaojung Shiao and Ly Vinh Dat, "Efficiency Improvement for an Unthrottled SI Engine at Part Load," *International Journal of Automotive Technology*, vol.13, no. 6, pp. 885-893, 2012.
- Yaojung Shiao and Ly Vinh Dat, "A New Electromagnetic Valve train with PM/EM Actuator in SI Engines", *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, Vol. 37, No 1A, 2013.
- Ly Vinh Dat, Le Nam Anh, Tran Anh Tuan "A Design Of Novel Valve Train System For Cylinder Deactivation In SI Engine", 2015.
- Nguyễn Văn Trọng, *Giáo trình động cơ đốt trong*, NXB. Đại học Quốc gia TP. HCM, 2005.
- G. B. Parvate-Patil, H.Hong and B. Gordon, *An Assessment of Intake and Exhaust Philosophies for Variable Valve Timing*, Concordia University, 2003.
- Jinho Kim and D.K. Lieu, *A New Electromagnetic Engine Valve Actuator with Less Energy Consumption for Variable Valve Timing*, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2007.
- Jinho Kim and D.K. Lieu, *Designs for a New, Quick-Response, Latching Electromagnetic Valve*, University of California, 2005.
- Jieng-Jang Liu, Yee-Pien Yang, Jia-Hong Xu; *Electromechanical Valve Actuator with Hybrid MMF for Camless Engine*, National Taiwan University.