

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO THIẾT BỊ THỬ VÀ KIỂM TRA KIM PHUN TRONG HỆ THỐNG CẤP NHIÊN LIỆU COMMON RAIL TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL CỠ NHỎ

RESEARCH ON DESIGN AND FABRICATION OF A FUELLER TESTING DEVICE IN COMMON RAIL FUEL SUPPLY SYSTEMS ON LOW-POWER DIESEL ENGINE

ThS. Nguyễn Văn Hoàn

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: hoannv@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Động cơ đốt trong sử dụng hệ thống cung cấp nhiên liệu Common Rail sẽ không có giới hạn về dải vòng quay và dải công suất làm việc tối ưu do ECU hoàn toàn chủ động được cả về thời điểm cấp và lượng cấp nhiên liệu cho động cơ. Vì vậy, động cơ sẽ luôn được tối ưu về hiệu suất và giảm thiểu ô nhiễm môi trường ở các chế độ hoạt động. Tuy nhiên, ngoài những ưu điểm vượt trội so với hệ thống cung cấp nhiên liệu truyền thống thì Common Rail sẽ yêu cầu về nhiên liệu khắt khe hơn về cả nhiệt trị cháy và độ sạch, hệ thống phức tạp và hiện đại sẽ yêu cầu trình độ khai thác cao hơn, chế độ bảo dưỡng, sửa chữa cũng yêu cầu những người thợ phải qua đào tạo và cần có những thiết bị chuyên dùng để có thể khám và sửa chữa những hư hỏng thông thường và bất thường trong quá trình sử dụng.

Từ khóa: Common Rail; Gscan; Solenoid; ECU; Thời điểm; Lượng cấp; Nhiệt trị cháy của nhiên liệu.

ABSTRACT

Internal combustion engines using a Common Rail fuel supply system have no limitations on the optimal engine speed and power range because the ECU has complete control over both the timing and amount of fuel supplied to the engine. Therefore, the engine will always be optimized for performance and minimize environmental pollution in all operating modes. However, in addition to its superior advantages over traditional fuel supply systems, Common Rail requires stricter fuel specifications regarding both combustion heat and cleanliness. The complex and modern system demands a higher level of operational expertise, and maintenance and repair require trained technicians and specialized equipment to diagnose and repair common and unusual malfunctions during use.

Keywords: Common Rail; G-scan; Solenoid; ECU; Injection advance angle; Fuel Injection Timing; Calorific value of fuel.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhiên liệu được bơm cao áp đẩy đến ống dẫn chung (Rail) ở trạng thái sẵn sàng với áp suất rất lớn (80MPa – 220MPa). ECU (Electronic Control Unit) ra lệnh mở kim phun, cấp nhiên liệu vào buồng đốt với lượng cấp, thời điểm cấp với các thông số tối ưu nhất phụ thuộc vào chế độ tải, tốc độ, nhiệt độ nước, áp suất dầu bôi trơn...

Vòi phun nhiên liệu kiểu điện tử được điều khiển bởi ECU trong quá trình làm việc thực tế hiện nay có tuổi thọ rất ngắn do bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như: chất lượng nhiên liệu, độ sạch nhiên liệu, chế độ khai thác. Kim phun điện tử gặp sự cố sẽ ảnh hưởng đến các thông số làm việc của động cơ như: tải, độ ồn và rung động, tăng lượng phát thải và muội than.

Việc xử lý các sự cố liên quan đến kim phun hiện nay hầu hết phụ thuộc vào hãng cung cấp động cơ, và hãng gần như chỉ thay thế nguyên cụm vòi phun mới và nguyên bộ cho 1 động cơ có thông số tương đương với giá thành rất lớn và là gánh nặng kinh tế với các đơn vị sử dụng. Vì vậy, việc nghiên cứu chế tạo thiết bị kiểm tra và cân chỉnh được các kim phun điện tử trong hệ thống cung cấp nhiên liệu kiểu Common Rail là rất cần thiết hiện nay.

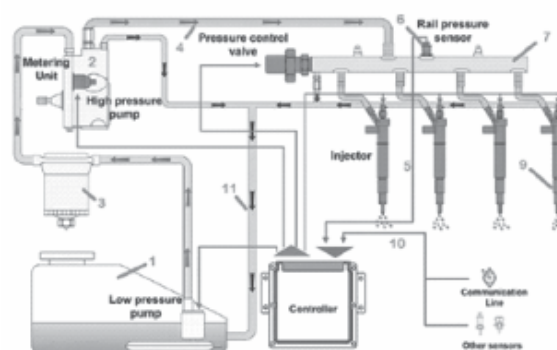
2. HỆ THỐNG CẤP NHIÊN LIỆU ĐIỆN TỬ VÀ KIM PHUN

Vào năm 1897, nhà phát minh người Đức – Rudolf Diesel đã cho phát triển động cơ Diesel vận hành theo nguyên lý tự cháy. Ở gần cuối quá trình nén, nhiên liệu được đưa vào buồng đốt động cơ để cho ra hòa khí rồi tự bốc cháy. Tới năm 1927 – Robert Bosch phát triển và cho ra mắt bơm cao áp (bơm phun Bosch lắp đặt trên động cơ diesel ô tô khách và ô tô thương mại vào năm 1936).

Nhờ các nghiên cứu cách thức giải quyết tối ưu nhằm giảm bớt mức độ tiêu hao nhiên liệu và ô nhiễm môi trường, động cơ Diesel không ngừng phát triển. Các kỹ sư phát triển động cơ Diesel đã cho ra nhiều biện pháp khác nhau về kỹ thuật phun và sắp xếp quá trình cháy để hạn chế các chất ô nhiễm thoát ra môi trường.

Các biện pháp chủ yếu hướng tới các mục đích: Giảm lượng lớn lượng cacbon không tinh khiết trong quá trình tăng tốc hòa trộn không khí – nhiên liệu bằng cách tăng tốc độ phun; Tăng áp suất phun, nhất là đối với những động cơ phun trực tiếp; Tổ chức dạng quy luật phun theo khuynh hướng kết thúc nhanh quá trình phun để giảm HC.

Ngày nay, những nhược điểm của hệ thống nhiên liệu diesel hầu như đã được khắc phục hoàn toàn bằng các bộ phận như: Vòi phun, bơm cao áp, ống lưu trữ nhiên liệu áp suất lớn, các ứng dụng tự động điều khiển nhờ sự phát triển từ công nghệ (năm 1986 – Bosch cho ra mắt thị trường việc điều khiển điện tử cho động cơ diesel). Nó được gọi là hệ thống nhiên liệu Common Rail Diesel.

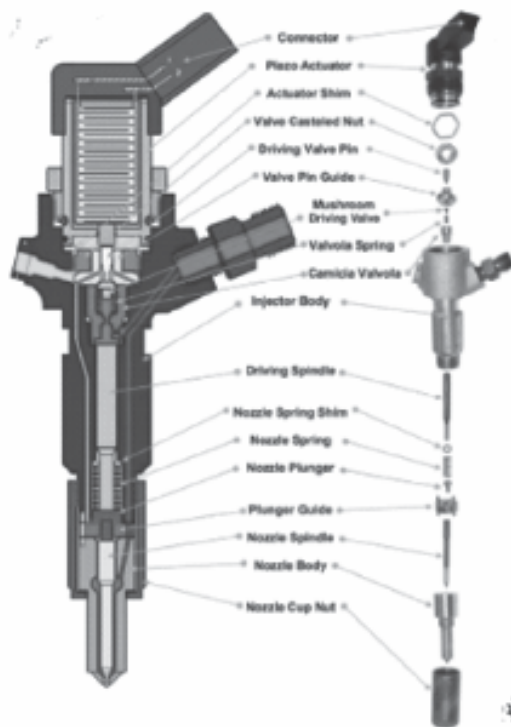


Hình 1. Sơ đồ hệ thống cung cấp nhiên liệu Common Rail Diesel

Việc phun nhiên liệu và tạo áp suất là hoàn toàn riêng biệt với nhau trong hệ thống

Common Rail. Áp suất được suất phun được hình thành độc lập với tốc độ và mức nhiên liệu phun ra. Nhiên liệu được lưu trữ với áp suất cao trong Rail (7).

Injectors (Kim phun điện tử) được kiểm soát bởi ECU có chức năng phun nhiên liệu với lượng và thời điểm cực kỳ chính xác. Kim phun bao gồm: Solenoid và Piezo.



Hình 2. Kim phun trong hệ thống cung cấp nhiên liệu Common Rail Diesel

Hệ thống Common Rail tuy hiện đại và hiệu quả nhưng vẫn có thể gặp nhiều sự cố nếu vận hành trong điều kiện khắc nghiệt hoặc sử dụng nhiên liệu kém chất lượng. Dưới đây là các lỗi phổ biến:

1. Kim phun điện tử gặp sự cố:

Triệu chứng: Máy rung, khó nổ, tiêu hao nhiên liệu tăng, có khói đen.

Nguyên nhân: Mòn kim, bắn muối, nhiên liệu không tinh khiết.

Khắc phục: Vệ sinh hoặc thay kim phun. Kiểm tra dòng hồi để đánh giá mức độ rò.

2. Áp suất rail không ổn định:

Triệu chứng: Đèn Check Engine sáng, máy yếu, xe hụt ga.

Nguyên nhân: Hồng SCV, cảm biến áp suất rail sai lệch, bơm cao áp yếu.

Khắc phục: Đo và so sánh áp suất Desired và Actual. Kiểm tra các cảm biến liên quan.

3. Bơm cao áp bị yếu hoặc rò:

Triệu chứng: Xe khó nổ nguội/nóng, công suất yếu, tiêu hao tăng.

Nguyên nhân: Mòn cánh bơm, lọc nhiên liệu nghẹt, không đủ nhiên liệu vào bơm.

Khắc phục: Đo áp suất đầu ra của bơm. Thay lọc, vệ sinh đường nhiên liệu, thay bơm nếu cần.

4. Van SCV bị kẹt hoặc hoạt động không chính xác:

Triệu chứng: Áp suất rail dao động bất thường, xe giật, không đều ga.

Nguyên nhân: Cặn bẩn nhiên liệu, hồng solenoid điều khiển.

Khắc phục: Vệ sinh hoặc thay thế van SCV. Kiểm tra dây tín hiệu từ ECU.

5. Cảm biến áp suất rail sai số hoặc lỗi tín hiệu:

Triệu chứng: Báo lỗi P0087, P0190... động cơ mất công suất, nổ không ổn định.

Nguyên nhân: Hồng cảm biến, rò rỉ dây điện, nhiễu tín hiệu.

Khắc phục: Kiểm tra tín hiệu cảm biến bằng máy chẩn đoán. Thay cảm biến nếu sai lệch.

Thực tế sử dụng với bất kỳ các hư hỏng nào ở trên dẫn đến động cơ làm việc không đủ tải, khói đen, rung giật hay không tăng được vòng tua cũng đều đặt nghi vấn ban đầu đến kim phun do bị ảnh hưởng đầu tiên. Việc kiểm tra cân chỉnh kim phun trên động cơ Common Rail hiện nay đang phụ thuộc rất nhiều vào hãng chế tạo động cơ hoặc ủy quyền. Việc kiểm tra đánh giá sự cố của các đơn vị này thường dẫn đến kết luận là tiếp tục sử dụng hoặc thay thế kim phun gây tốn kém và mất rất nhiều thời gian cho các chủ máy, chủ xe và chủ thiết bị.

Việc kiểm tra đánh giá tình trạng kỹ thuật của kim phun trong hệ thống Common Rail không thể đánh giá thông qua các hiện tượng khác thường khi động cơ làm việc hay bằng kinh nghiệm khi xem xét bằng mắt thường mà cần có thiết bị kiểm tra. Thực tế cho thấy, khi kiểm tra kim phun bằng bơm tay và cấp nguồn cho Solenoid như cách làm của một số cơ sở hiện nay cũng vẫn không đánh giá được toàn bộ tình trạng kỹ thuật của kim phun, thậm chí gây hư hỏng kim phun mà không rõ nguyên nhân (và được giải thích rằng kim phun đã hư hỏng không thể phục hồi) do hai lý do:

- Áp suất cấp cho kim phun không đủ lớn và giữ áp suất ổn định trong quá trình thử ($600\text{kg/cm}^2 - 2.200\text{kg/cm}^2$).

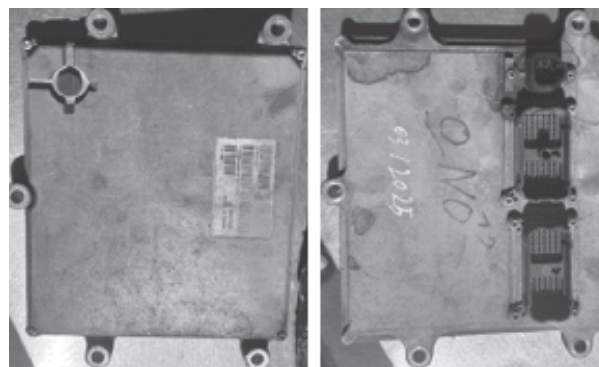
- Nguồn cấp cho Solenoid không đúng như ECU điều khiển kim ở các chế độ làm việc khác nhau.

3. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU CỦA ĐỀ TÀI

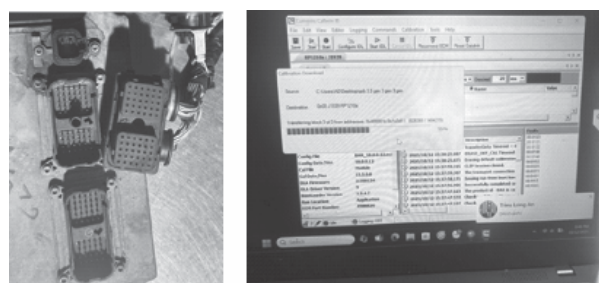
3.1. Đọc dữ liệu từ ECU

Từ chương trình điều khiển kim phun trong ECU sẽ bóc tách, xem xét và nghiên cứu các thông số điều khiển kim phun trong hệ thống Common Rail. Vì thực tế có một số kim

phun có thể làm việc ổn định ở chế độ vòng quay thấp nhưng không ổn định khi tăng vòng tua và ngược lại.



Hình 3. Hộp ECU động cơ Cummins QSB 6.7



Hình 4. "Chế" cáp và kết nối ECU động cơ Cummins QSB 6.7 với máy tính, load dữ liệu thông qua phần mềm Cummins Calterm 3

3.2. Load thông số điều khiển kim phun và chuyển qua mạch tạo xung

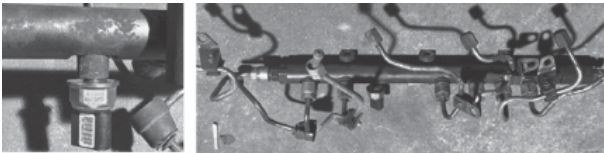
Từ các thông số bóc tách từ phần mềm đọc ECU, sau đó tiến hành chế tạo mạch điều khiển có tín hiệu điều khiển tương tự ở các dải vòng quay làm việc khác nhau của động cơ (số lần phun ở từng dải vòng quay). Như vậy sẽ kiểm soát được toàn diện tình trạng làm kỹ thuật của kim phun khi động cơ làm việc ở các chế độ.



Hình 5. “Chế” mạch điều khiển kim phun có thông số tương tự tín hiệu điều khiển kim phun từ ECU. Hộp có thể chạy thử cho cả nguồn điều khiển 12V và 24V

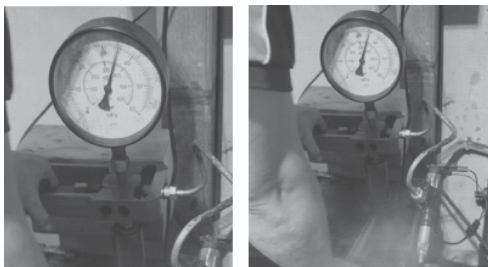
3.3. Lắp đặt hệ thống và thử

- Sử dụng các thiết bị có sẵn trên động cơ và tiến hành lắp ráp. Sử dụng bơm tay đóng vai trò là bơm cao áp để cấp nhiên liệu cho Rail.



Hình 6. Đường ống dẫn nhiên liệu chung cấp cho kim phun “Rail”

- Sử dụng bơm cao áp có thông số áp suất tương tự của động cơ cho dẫn động bởi động cơ điện nhằm duy trì áp suất nhiên liệu trong Rail ứng với các chế độ làm việc. Như vậy sẽ duy trì được đúng thông số áp suất (do van điều áp SCV đảm nhiệm) và lượng nhiên liệu cấp cho kim phun trong quá trình thử.



Hình 7. Kiểm tra áp suất khởi động động cơ của kim phun trong hệ thống cung cấp nhiên liệu Common Rail Diesel trên động cơ Cummins QSB 6.7

Kết quả thử nghiệm mô tả trên Hình 7 cho thấy kim phun sau khi bảo dưỡng, cân chỉnh và thử kiểm tra bằng mạch tạo xung kết hợp bơm cao áp, ở áp suất mở kim khi khởi động của động cơ trên phần mềm tách từ ECU là 35MPa, động cơ đã có thể khởi động. Kim phun sau khi thử test thông số được lắp lên động cơ và nổ tại chỗ ổn định vòng quay, không nhả khói bất thường khi tăng giảm vòng quay, nhiệt độ nước và dầu bôi trơn nằm trong giới hạn cho phép.



Cả hai công việc trên sẽ đưa ra điều kiện thử kiểm tra kim phun trong hệ thống Common Rail Diesel gần nhất với điều kiện làm việc của kim phun khi gắn trên động cơ. Và sẽ dẫn đến kết quả là đánh giá được chính xác nhất về tình trạng kỹ thuật của kim phun trước khi tiến hành vệ sinh, bảo dưỡng, sửa chữa hoặc thay thế các bộ phận hư hỏng của kim phun.

4. KẾT LUẬN

Dựa trên kết quả thu được, nhóm tác giả có một số nhận xét như sau:

- Việc nghiên cứu chế tạo thiết bị thử kiểm tra và cân chỉnh kim phun cho động cơ diesel công suất nhỏ sử dụng hệ thống cung cấp nhiên liệu Common Rail áp dụng rộng rãi vào

thực tế sẽ rút ngắn được rất nhiều thời gian đối với các động cơ ở vùng sâu vùng xa, tiết giảm được chi phí thay mới cả cụm thay vì có thể sửa chữa hoặc thay thế từng phần.

- Kết quả của việc nghiên cứu chế tạo thành công thiết bị thử kiểm tra góp phần làm thiết bị giảng dạy giúp cho sinh viên khối Kỹ thuật hiểu sâu hơn về hệ thống và làm chủ hệ thống Common Rail phục vụ công việc chuyên môn sau khi tốt nghiệp.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT25-26.53. ❖

Ngày nhận bài: **02/4/2025**

Ngày phản biện: **10/4/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Lê Viết Lượng, “*Lý thuyết động cơ diesel*” (Tái bản), NXB. Giáo dục, 2004.
- [2]. Lê Viết Lượng, Nguyễn Văn Hoàn, “*Kết cấu động cơ đốt trong*”. NXB. Hàng hải, 2012.
- [3]. Phạm Minh Hiếu, “*Giáo trình hệ thống nhiên liệu động cơ đốt trong*”. NXB. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, 2019.
- [4]. Hoàng Đình Long, “*Giáo trình kỹ thuật sửa chữa Ô tô*”. NXB. Giáo dục, 2016.