



NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA TỶ LỆ BIO-DIESEL LÊN ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC CỦA HỆ THỐNG PHUN NHIÊN LIỆU KIỂU TÍCH ÁP COMMON RAIL

Khổng Văn Nguyên^{1*}, Trần Anh Trung², Nguyễn Hoàng Vũ³

Tóm tắt: Ảnh hưởng của tỷ lệ bio-diesel tác động lên hệ thống phun nhiên liệu kiểu cơ khí truyền thống đã được công bố trong rất nhiều công trình khoa học. Tuy nhiên, việc nghiên cứu ảnh hưởng của biodiesel lên đặc tính làm việc và điều khiển của hệ thống phun nhiên liệu kiểu common-rail (CR) thì vẫn chưa có nhiều công trình công bố. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của độ mở van điều chỉnh lượng nhiên liệu cấp vào bơm cao áp (van SCV - Suction Control Valve) và độ mở van điều chỉnh áp suất rail (van RPCV - Rail Pressure Control Valve) đến áp suất trong ống tích áp prail; khi sử dụng các hỗn hợp biodiesel khác nhau (B0, B10, B20) trên động cơ diesel 2.5TCIA. Kết quả cho thấy tỷ lệ bio-diesel ít ảnh hưởng đến đặc tính áp suất và động học của hệ thống.

Từ khóa: CommonRail; van SCV; van RPCV; áp suất rail.

Experimental study of the effects of biodiesel on characteristics pressure of a commonrail diesel fuel injection system

Abstract: The influence of bio-diesel replaced rate on the conventional low-pressure fuel supply system has been published in many studies. However, research of biodiesel on control characteristics of a Common Rail (CR) diesel fuel injection system have not been published yet. This paper presents the experimental results of Rail pressure when changing the duty-cycle of fuel metering control valve (valve SCV - Suction Control Valve) fuel rail pressure control valve (valve RPCV - Rail Pressure Control Valve) and blends of biodiesel B0, B10, B20 on 2.5TCIA engine. The results show that the blends of biodiesel have a small effect on the pressure characteristics and dynamics of the CR system.

Keywords: CommonRail; valve SCV; valve RPCV; pressure rail.

Nhận ngày 10/5/2017; sửa xong 9/6/2017; chấp nhận đăng 23/6/2017
Received: May 10, 2017; revised: June 9, 2017; accepted: June 23, 2017



1. Đặt vấn đề

Hiện nay, xu hướng cơ-điện tử hóa hệ thống phun nhiên liệu (HTPNL) và điều khiển động cơ là tất yếu nhằm giảm suất tiêu hao nhiên liệu, giảm phát thải và đảm bảo các đặc tính vận hành khác của động cơ. Trong đó, HTPNL diesel kiểu tích áp Common Rail (CR) đã được áp dụng rộng rãi trên phương tiện giao thông vận tải [1] do có nhiều ưu điểm như áp suất phun cao, cho phép phun nhiều giai đoạn giúp nâng cao hiệu suất nhiệt, giảm phát thải và giảm rung động của động cơ.

Đối với HTPNL diesel kiểu cơ khí truyền thống, diễn biến áp suất phun phụ thuộc chủ yếu vào biên dạng (cố định) của cam dẫn động bơm cao áp (BCA), chế độ tải, tốc độ của động cơ [1,2] và áp suất phun là tham số quyết định thời điểm nhấc kim phun của vòi phun (VP) để cung cấp nhiên liệu vào xi lanh. Với HTPNL kiểu này, khi cố định các thông số vận hành khác (chế độ tải và tốc độ, áp suất bắt đầu nâng kim phun...) thì áp suất phun, đặc tính vật lý của nhiên liệu (khối lượng riêng, độ nhớt) có ảnh hưởng nhất định tới lượng phun của VP. Trong đó, áp suất phun ít ảnh hưởng đến lượng phun mà chủ yếu ảnh hưởng tới mức độ phun tới [1,2].

HTPNL kiểu CR có sự khác biệt so với HTPNL diesel thông thường, hệ thống CR có thể thay đổi áp suất phun theo các chế độ làm việc khác nhau và áp suất phun ảnh hưởng trực tiếp tới các chỉ tiêu kinh tế

¹ThS, Bộ môn Động cơ đốt trong, Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

²TS, Bộ môn Động cơ đốt trong, Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

³PGS.TS, Khoa Động lực, Học viện Kỹ thuật quân sự.

*Tác giả chính. E-mail: kvnguyen251@gmail.com.

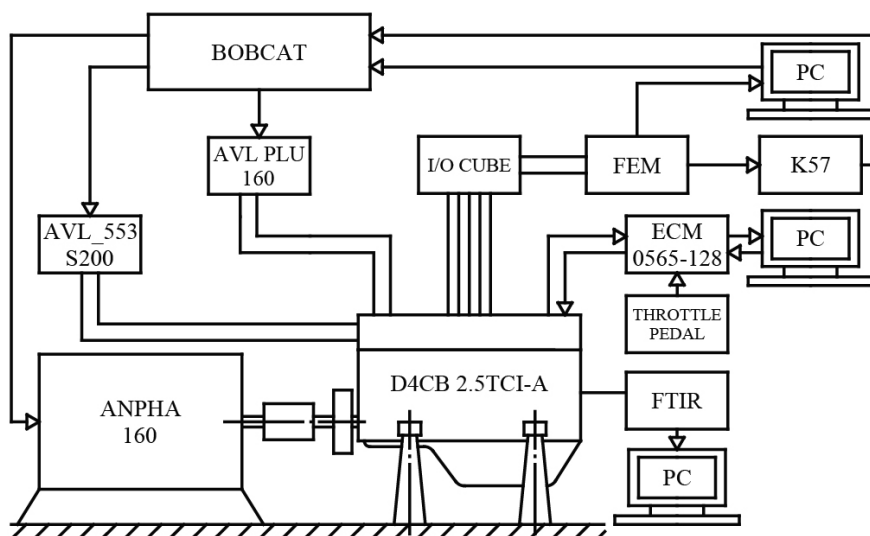
kỹ thuật cũng như mức phát thải của động cơ diesel [4], vì vậy vấn đề điều khiển áp suất nhiên liệu trong ống tích áp cần phải tối ưu và chính xác. Áp suất nhiên liệu trong ống tích áp - p_{rail} bị ảnh hưởng bởi nhiều thông số khác như lưu lượng nhiên liệu cấp vào BCA, lưu lượng nhiên liệu hồi về thùng, lượng nhiên liệu phun của từng xy lanh cũng như các đặc tính lý-hóa của nhiên liệu [4]. Do đó, cần phải nghiên cứu ảnh hưởng độ mở van điều chỉnh lượng nhiên liệu cấp vào BCA - van SCV (Suction Control Valve) và độ mở van điều chỉnh áp suất rail - van RPCV (Rail Pressure Control Valve) và tỷ lệ pha trộn của biodiesel đến p_{rail} phục vụ việc điều khiển chính xác áp suất phun yêu cầu. Các van SCV và RPCV được điều khiển bằng cách thay đổi điện áp cấp qua van thông qua phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM), độ mở của van thông thường được thể hiện qua tỷ lệ xung dương và xung âm PWM với 0% là đóng hoàn toàn và 100% là mở hoàn toàn, Bài báo trình bày kết quả thực nghiệm nghiên cứu ảnh hưởng của độ mở van SCV, RPCV và tỷ lệ biodiesel đến p_{rail} .



2. Tiến hành thử nghiệm

2.1 Trang thiết bị

Quá trình thử nghiệm được tiến hành trên bộ thử động cơ AVL đặt tại Phòng thí nghiệm Động cơ đốt trong - Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận Tải với sơ đồ bố trí trang thiết bị được trình bày trên Hình 1. Động cơ được đặt trên băng thử động lực học cao Alpha 160 đi kèm là các thiết bị đo bao gồm: Thiết bị đo lượng tiêu thụ nhiên liệu AVL PLU 160; thiết bị phân tích khí thải FTIR; thiết bị đo và hiệu chỉnh nhiệt độ nước làm mát. Van SCV và van RPCV được điều khiển bởi ECM MotoHawk ECM-0565-128 của hãng Woodward. ECM-0565-128 sử dụng bộ vi điều khiển 32 bit tốc độ cao bộ nhớ lớn, kết hợp với trình dịch Motohawk cho phép dịch từ Matlab Simulink sang ngôn ngữ vi điều khiển Assembler. Nhờ ưu điểm này người thiết kế có thể mô phỏng tối ưu chương trình điều khiển trên Matlab Simulink và gửi trực tiếp sang ECM-0565-128 mà không cần công đoạn trung gian là tự viết code, giúp cho tính thời gian thực của chương trình được đảm bảo. ECM có thể hoạt động chính xác trong các điều kiện khắc nghiệt, có khả năng điều khiển các tín hiệu phức tạp, tần số cao và cho phép kết nối với máy tính, các thiết bị chẩn đoán và các ECU khác trên xe thông qua cổng CAN 2.0B.

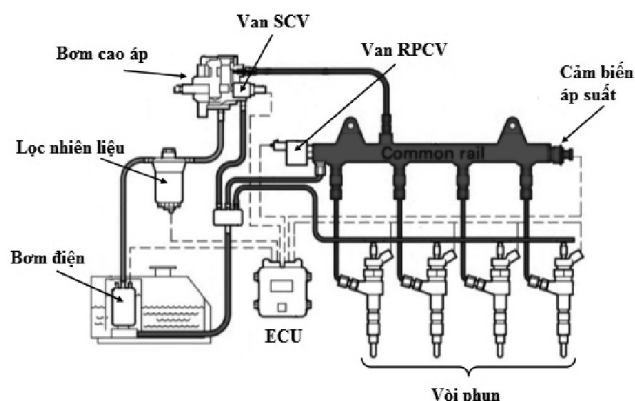


Hình 1. Sơ đồ bố trí các trang thiết bị thử nghiệm

Anpha 160: phanh thử; AVL-553S-200: hệ thống kiểm soát nhiệt độ nước làm mát; AVL PLU 160: thiết bị đo lượng nhiên liệu tiêu thụ; Bobcat: hệ thống tự động hóa thiết bị đo và bộ thử; I/O Cube: hộp nối cáp tín hiệu từ các cảm biến; FEM-bộ chuyển đổi tín hiệu; K57-bảng điều khiển; ECM 556-128-bộ điều khiển điện tử của động cơ; Throttle pedal-bàn đạp ga; FTIR: thiết bị phân tích khí thải; PC-máy tính.

2.2 Đối tượng thử nghiệm

Đối tượng thử nghiệm là động cơ diesel Hyundai D4CB 2.5 TCI-A sử dụng HTPNL kiểu CR (CP1-H) trên với sơ đồ nguyên lý như trên Hình 2, với các thông số kỹ thuật cơ bản được trình bày trong Bảng 1. Đây là loại động cơ đang được sử dụng khá phổ biến tại Việt Nam (lắp trên xe con, xe tải nhẹ, xe chở khách, xe cứu thương...) do có mức công nghệ và giá thành phù hợp. Trong quá trình thử nghiệm, động cơ 2.5 TCI-A được điều khiển bằng ECM-0565-128.



Hình 2. Sơ đồ HTPNL kiểu CR dùng BCA kiểu CP1-H [4]

Bảng 1. Các thông số kỹ thuật cơ bản của HTPNL CR động cơ Hyundai 2.5 TCI-A [11]

TT	Cụm	Tên thông số	Giá trị
1	Bơm cao áp	Áp suất nhiên liệu cực đại	1600 bar
		Lưu lượng cực đại	843 mm ³ /vòng quay
		Dạng bơm	CP1-H
2	Common Rail	Áp suất cực đại	1600 bar
		Kiểu điều khiển áp suất	Điều khiển đầu vào đầu ra bằng van SCV và RPCV
3	Vòi phun	Kiểu vòi phun	IQA injector
		Số lần phun tối đa	5 lần
		Áp suất phun cực đại	1600 bar

2.3 Nhiên liệu thử nghiệm

Nhiên liệu sử dụng trong nghiên cứu này là diesel dầu mỏ (0,05% S) lưu thông trên thị trường và biodiesel B10, B20 (với B100 được sản xuất từ bã thải của quá trình tinh lọc dầu cọ thành dầu ăn [1]). Các thuộc tính chính của nhiên liệu B0, B10 và B20 được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Các thuộc tính chính của nhiên liệu thử nghiệm [3,4]

TT	Loại nhiên liệu	B0	B10	B20
1	Nhiệt trị thấp (MJ/kg)	42,5	41,84	41,18
2	Trị số xetan	48	48.35	48.68
3	Khối lượng riêng tại 15°C (kg/l)	0,830	0,8355	0,841
4	Độ nhớt động học tại 40°C (mm ² /s)	3,61	3,79	3,97

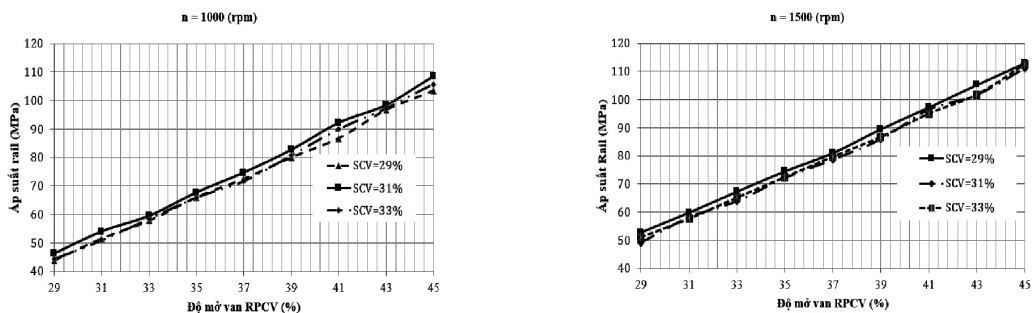
2.4 Chế độ thử nghiệm

Để xác định áp suất rail theo độ rộng xung điều khiển van SCV và độ rộng xung điều khiển van RPCV, chế độ thử nghiệm được chia ra 2 chế độ là ổn định và chuyển tiếp như sau: Chế độ ổn định: Tốc độ động cơ được lựa chọn ở 1000; 1500; 2000; 2500 (vg/ph), thay đổi độ rộng xung điều khiển (duty cycle) van SCV ở chế độ 25%; 27%; 29%; 31%; 33% (vùng mở van SCV để p_{rail} đạt lớn nhất); độ rộng xung điều khiển van RPCV thay đổi từ 29% đến 45% với bước thay đổi độ rộng xung là 2%. Tương ứng với mỗi chế độ tốc độ 1000, 1500, 2000, 2500 vg/ph, việc thử nghiệm được tiến hành với 3 loại nhiên liệu B0, B10, B20. Chế độ chuyển tiếp: Mục đích việc thực nghiệm với chế độ chuyển tiếp là nhằm xác định đặc tính động học của p_{rail} . Với mỗi chế độ tốc độ; giữ cố định độ mở van SCV, thay đổi độ mở van RPCV từ 14% đến 38%. Các thông số đo liên tục theo thời gian thực (15 ms một lần lấy mẫu) bao gồm: tốc độ động cơ, độ mở van SCV, độ mở van RPCV và p_{rail} . Quy luật thay đổi độ mở van RPCV bao gồm 3 chu kỳ: chu kỳ tăng và giảm từ 14% đến 38% với bước thay đổi là 14%; chu kỳ tăng và giảm từ 14% đến 38% với bước thay đổi là 8% và chu kỳ tăng và giảm từ 14% đến 38% với bước thay đổi là 2.

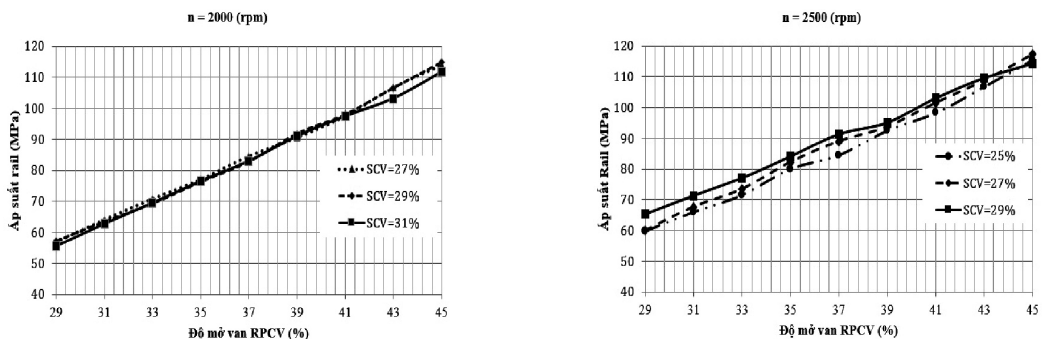
3. Kết quả thử nghiệm và thảo luận

3.1 Ảnh hưởng của độ rộng xung điều khiển SCV và RPCV tới p_{rail}

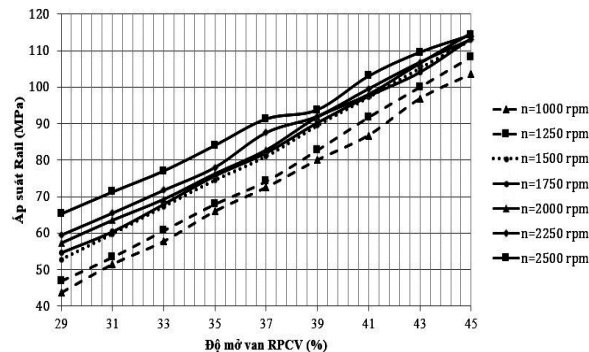
Kết quả xác định p_{rail} ở các dải tốc độ trục BCA 1000, 1500, 2000, 2500 vg/ph khi thay đổi độ rộng xung điều khiển van SCV, độ rộng xung điều khiển van RPCV được thể hiện trên Hình 3, Hình 4. Ta thấy: Quy luật tác động của độ rộng xung điều khiển van RPCV là giống nhau khi thay đổi độ rộng xung điều khiển van SCV, p_{rail} tăng khi tăng độ rộng xung điều khiển van RPCV nguyên nhân là do khi tăng độ rộng xung điều khiển van RPCV thì lượng nhiên liệu từ ống rail hồi về bơm giảm. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu đã công bố, [6,7]. Vị trí mở van SCV để p_{rail} đạt giá trị lớn nhất với tốc độ 1000 vg/ph; 1500 vg/ph; 2000 vg/ph và 2500 vg/ph tương ứng lần lượt là 31%; 29%; 27% và 29%. Nguyên nhân có thể do khi van SCV mở nhỏ lượng nhiên liệu cấp tới bơm thấp dẫn tới p_{rail} nhỏ, khi van SCV mở lớn sẽ tổn công bơm vì vậy với mỗi tốc độ động cơ sẽ có 1 vị trí mở van SCV để p_{rail} đạt giá trị lớn nhất. Ảnh hưởng của độ rộng xung điều khiển RPCV và tốc độ tới áp suất rail khi sử dụng B0 ứng với tốc độ động cơ thay đổi từ 1000 vg/ph đến 2500 vg/ph (cùng độ mở van SCV 31%) được trình bày trên Hình 5. Quy luật thay đổi p_{rail} khi thay đổi tốc độ là giống nhau, ở cùng độ rộng xung điều khiển van RPCV, áp suất rail tăng tỷ lệ với tốc độ động cơ, phù hợp với các kết quả đã công bố [6,7].



Hình 3. Ảnh hưởng của độ mở van SCV và van RPCV đến p_{rail} khi sử dụng B0 tại tốc độ 1000 vg/ph và 1500 vg/ph



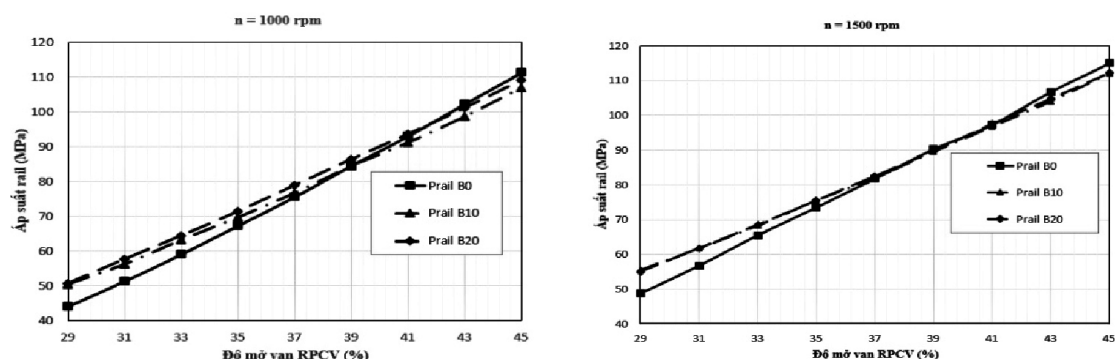
Hình 4. Ảnh hưởng của độ mở van SCV và van RPCV đến p_{rail} khi sử dụng B0 tại tốc độ 2000 vg/ph và 2500 vg/ph



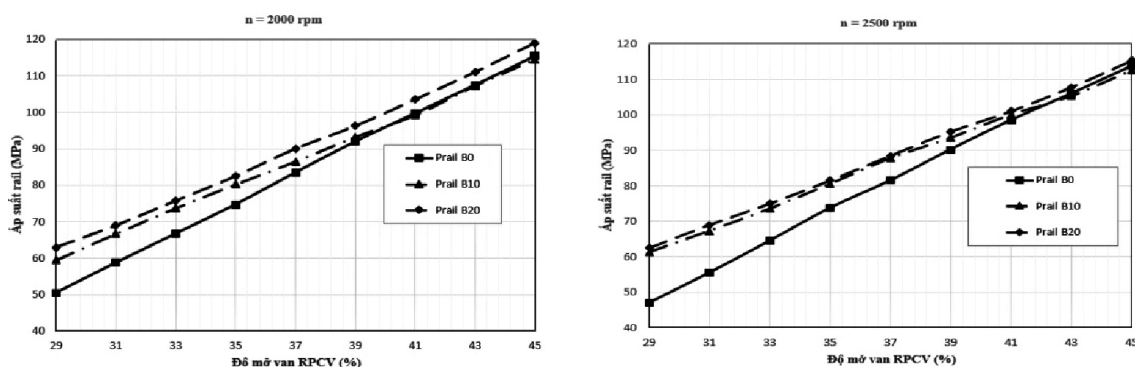
Hình 5. Ảnh hưởng của độ mở van RPCV và tốc độ tới p_{rail}

3.2 Ảnh hưởng của tỷ lệ biodiesel tới p_{rail}

Ảnh hưởng của tỷ lệ pha trộn biodiesel tới áp suất rail khi thay đổi độ rộng xung điều khiển van SCV và van RPCV được trình bày trên Hình 6. Ta thấy việc thay đổi tỷ lệ pha trộn của hỗn hợp có ảnh hưởng tới áp suất rail, vùng áp suất thấp (< 90 MPa) khi độ mở van SCV và RPCV cố định động cơ sử dụng nhiên liệu biodiesel có p_{rail} lớn hơn, vùng áp suất cao (> 90 MPa) khi độ mở van SCV và RPCV cố định động cơ sử dụng nhiên liệu biodiesel lại có p_{rail} thấp hơn. Nguyên nhân có thể do tại vùng áp suất rail lớn, nhiệt độ nhiên liệu tăng dẫn tới thay đổi về trọng lượng riêng, độ nhớt, sức căng mặt ngoài của các loại nhiên liệu.



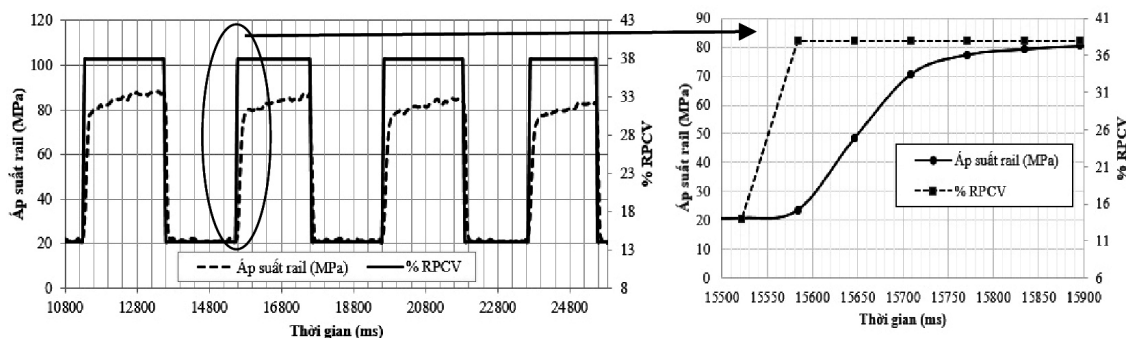
Hình 6. Ảnh hưởng của độ mở van RPCV và biodiesel tới p_{rail} tại tốc độ 1000 và 1500 vg/ph



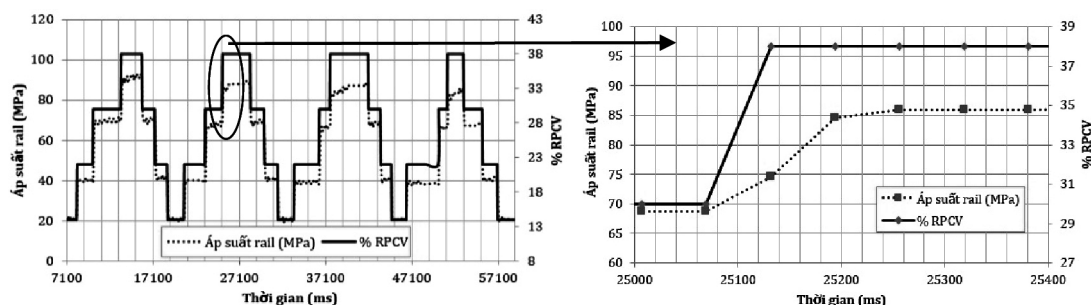
Hình 7. Ảnh hưởng của độ mở van RPCV và biodiesel tới p_{rail} tại tốc độ 2000 và 2500 vg/ph

3.3 Độ trễ áp suất rail

Độ trễ áp suất rail với độ mở van RPCV thay đổi ở chế độ chuyển tiếp được thể hiện như trên Hình 8 và Hình 9. Qua Hình 8 và Hình 9 cho thấy khi tăng độ mở van RPCV thì áp suất rail tăng chậm với độ trễ khoảng 100 ms. Khi giảm độ mở van RPCV thì p_{rail} giảm ngay tức thì.



Hình 8. Độ trễ áp suất rail với độ mở van RPCV thay đổi 2 bước từ 14% tới 38% ở tốc độ 1000 rpm



Hình 9. Độ trễ áp suất rail với độ mở van RPCV thay đổi 3 bước từ 14% tới 38% ở tốc độ 1000 rpm



4. Kết luận

Áp suất rail trong HTPNL kiểu CR là thông số quan trọng trong việc nâng cao hiệu suất nhiệt, giảm phát thải và giảm rung động của động cơ. Bài báo đã phân tích ảnh hưởng của độ mở van SCV, van RPCV và biodiesel tới áp suất rail bằng thực nghiệm. Với biodiesel có nguồn gốc dầu cọ dùng trong nghiên cứu này, khi cố định độ mở van SCV và RPCV vùng áp suất thấp (< 90 MPa) động cơ sử dụng nhiên liệu biodiesel có p_{rail} lớn hơn, vùng áp suất cao (> 90 MPa) động cơ sử dụng nhiên liệu biodiesel lại có p_{rail} thấp hơn. Xác định được thời gian trễ của áp suất rail khi thay đổi độ mở van khoảng 100ms ở tốc độ 1000 rpm khi tăng độ mở van RPCV. Kết quả thực nghiệm phản ánh đúng bản chất và phù hợp với sự vận hành của HTPNL kiểu CR.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đề tài cấp Quốc gia; mã số ĐT.08.14/NLSH.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Hoàng Vũ, Lại Văn Định, Hà Quang Minh (2004), "Xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống phun nhiên liệu trên động cơ diesel", *Tạp chí Giao thông vận tải*.
2. Nguyễn Hoàng Vũ (2014), *Nghiên cứu sử dụng nhiên liệu diesel sinh học (B10 và B20) cho phương tiện cơ giới quân sự*, Báo cáo tổng kết Đề tài NCKH & PTCN cấp Quốc gia, mã số ĐT.06.12/NLSH (thuộc Đề án phát triển nhiên liệu sinh học đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025).
3. Nguyễn Công Lý, Phan Đức Yển, Nguyễn Trung Kiên, Nguyễn Hoàng Vũ (2012), "Tính toán mô phỏng hệ thống phun nhiên liệu của động cơ diesel B2 bằng phần mềm Inject32", *Tạp chí Khoa học & Kỹ thuật, Học viện KTQS*, (148).
4. Nguyen V.H., Vu H.M., DO J.Y., Woo H.H. (2013), "Esterification of waste fatty acid from palm oil refining process into biodiesel by heterogeneous catalysis: fuel properties of B10, B20 blends", *International Journal of Renewable Energy and Environmental Engineering*, 1(1):1-5.
5. Isermann R.(2014), *Engine Modeling and Control*, springer.
6. Hongi S., Shini J., Sunwo M. (2012), "Common Rail Pressure Controller for Diesel Engines using an Empirical Model", *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*.
7. Liu Y., Zhang Y.T., Tian H., Qin J. (2008), "Research and applications for control strategy of high-pressure Common Rail injection system in diesel engine", *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, Harbin.
8. Lino P. (2007), "Nonlinear modelling and control of a common rail injection system for diesel engines", *Science Direct*.
9. Liu Q., Chen H. (2014), "Modeling and Control of the Fuel Injection System for rail Pressure Regulation in GDI Engine", *Senior Member IEEE*, 1501-1513.
10. <https://www.avl.com>
11. GDS software (2009), *GDS/manual/H1-BUS(TQ)/2009/D2.5TCI-A*.
12. Hyundai motors (2009), *Automotive Diesel Engines Catalogue*.