
LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là đề tài nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu kết quả nêu trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong các công trình nào khác!

TM TT HƯỚNG DẪN

Hà Nội, tháng 9 năm 2014
Nghiên cứu sinh

GS.TS Phạm Minh Tuấn

Hồ Văn Đàm

LỜI CẢM ƠN

Tôi xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Viện Sau đại học, Viện Cơ khí Động lực và Bộ môn Động cơ đốt trong đã cho phép tôi thực hiện luận án tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Xin cảm ơn Viện Đào tạo Sau đại học và Viện Cơ khí Động lực về sự hỗ trợ và giúp đỡ trong suốt quá trình tôi làm luận án.

Tôi xin chân thành cảm ơn GS.TS Phạm Minh Tuấn và PGS.TS Không Vũ Quảng đã hướng dẫn tôi hết sức tận tình và chu đáo về mặt chuyên môn để tôi có thể thực hiện và hoàn thành luận án.

Tôi xin chân thành biết ơn Quý thầy, cô Bộ môn và Phòng thí nghiệm Động cơ đốt trong - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội luôn giúp đỡ và dành cho tôi những điều kiện hết sức thuận lợi để hoàn thành luận án này.

Tôi xin cảm ơn Đảng ủy, Ban Giám hiệu cùng tập thể cán bộ giảng viên Trường Cao đẳng nghề kỹ thuật công nghiệp Việt Nam – Hàn Quốc đã hậu thuẫn và động viên tôi trong suốt quá trình nghiên cứu học tập.

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến các thầy phản biện, các thầy trong hội đồng chấm luận án đã đọc duyệt và góp các ý kiến quý báu để tôi có thể hoàn chỉnh luận án này và định hướng nghiên cứu trong tương lai.

Cuối cùng tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành tới gia đình và bạn bè, những người đã động viên khuyến khích tôi trong suốt thời gian tôi tham gia nghiên cứu và thực hiện công trình này.

Nghiên cứu sinh

Hồ Văn Đàm

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT	v
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU	vii
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ VÀ ĐỒ THỊ	viii
MỞ ĐẦU.....	1
i. Mục đích, đối tượng và phạm vi nghiên cứu của đề tài.....	2
ii. Phương pháp nghiên cứu	2
iii. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn	3
iv. Các nội dung chính trong đề tài.....	3
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ XÂY DỰNG BỘ DỮ LIỆU CHUẨN CHO ECU TRÊN ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG.....	4
1.1. Điều khiển điện tử trên các máy móc	4
1.1.1. Giới thiệu chung.....	4
1.1.2. Hệ thống điều khiển điện tử động cơ xăng	6
1.1.3. Hệ thống điều khiển điện tử động cơ diesel	12
1.1.4. Vai trò của bộ dữ liệu chuẩn ECU.....	19
1.2. Giới thiệu về xây dựng bộ dữ liệu chuẩn cho ECU của động cơ đốt trong.....	21
1.3. Các công trình đã thực hiện trong và ngoài nước	22
1.3.1. Nghiên cứu ngoài nước.....	22
1.3.2. Nghiên cứu trong nước	27
1.4. Lựa chọn phương pháp, giới hạn và đối tượng nghiên cứu	27
1.5. Kết luận chương 1.....	28
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT XÂY DỰNG BỘ DỮ LIỆU CHUẨN CHO ECU ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG.....	29
2.1. Bài toán tối ưu nhiều biến đa mục tiêu trong kỹ thuật	29
2.1.1. Bài toán tối ưu tổng quát.....	29
2.1.2. Phân loại các bài toán tối ưu.....	30
2.1.3. Nội dung lấy bộ dữ liệu chuẩn	38
2.2. Mô hình hệ thống nhiên liệu động cơ đốt trong	39
2.2.1. Miền làm việc của động cơ kéo máy công tác	39
2.2.2. Mô hình tối ưu tổng quát của HTNL động cơ diesel sử dụng trên phương tiện cơ giới.....	40
2.2.3. Các nội dung cần thực hiện khi xây dựng bộ dữ liệu chuẩn cho động cơ	43
2.3. Kết luận chương 2.....	46
CHƯƠNG 3. ỨNG DỤNG QUY HOẠCH THỰC NGHIỆM ĐỂ TỐI ƯU CÁC THAM SỐ TRONG QUÁ TRÌNH XÂY DỰNG BỘ DỮ LIỆU CHUẨN.....	48
3.1. Lý thuyết quy hoạch thực nghiệm	48
3.1.1. Vai trò của quy hoạch thực nghiệm trong nghiên cứu thử nghiệm.....	48
3.1.2. Đối tượng của quy hoạch thực nghiệm trong các ngành công nghiệp	49
3.1.3. Các phương pháp quy hoạch thực nghiệm	50
3.2. Phần mềm quy hoạch thực nghiệm DX6.....	61
3.2.1. Giới thiệu phần mềm DX6.....	61

3.2.2. Các bước thực hiện cơ bản trên phần mềm DX6.....	62
3.2.3. Phân tích kết quả.....	63
3.2.4. Giải bài toán tối ưu hoá trên phần mềm DX6	64
3.3. Thực hiện tối ưu tham số điều chỉnh động cơ	65
3.3.1. Ảnh hưởng của các tham số điều chỉnh tới các tính năng kinh tế kỹ thuật của động cơ sử dụng hệ thống CR	65
3.3.2. Quy trình tối ưu các tham số điều chỉnh	68
3.3.3. Tiến hành bài toán quy hoạch trực giao cấp II	69
3.4. Kết luận chương 3.....	70
CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM XÂY DỰNG BỘ DỮ LIỆU CHUẨN TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL AVL 5402.....	71
4.1. Mục đích	71
4.2. Nội dung thử nghiệm	71
4.3. Thiết bị thử nghiệm	71
4.3.1. Giới thiệu chung.....	71
4.3.2. Động cơ thử nghiệm.....	72
4.3.3. Bảng thử động cơ	74
4.3.4. Hệ thống điều khiển bảng thử	75
4.4. Quy trình và điều kiện thử nghiệm	77
4.4.1. Quy trình thử nghiệm	77
4.4.2. Điều kiện thử nghiệm	78
4.5. Tiến hành thử nghiệm và kết quả.....	78
4.5.1. Xây dựng đường đặc tính ngoài	78
4.5.2. Xây dựng đường đặc tính không tải	86
4.5.3. Xây dựng các đường đặc tính tải.....	92
4.5.4. Đánh giá độ tin cậy của kết quả	98
4.6. Kết luận chương 4.....	100
KẾT LUẬN CHUNG VÀ PHƯƠNG HƯỚNG PHÁT TRIỂN.....	101
Kết luận chung	101
Phương hướng phát triển.....	101
TÀI LIỆU THAM KHẢO	102
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA LUẬN ÁN.....	106
PHỤ LỤC	107

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

Ký hiệu	Diễn giải	Đơn vị
EFI	Phun xăng điện tử (Electronic Fuel Injection)	-
ECU	Bộ điều khiển điện tử (Electronic Control Unit)	-
SPI	Phun xăng đơn điểm (Single-Point Injection)	-
MAP	Áp suất nạp tuyệt đối (Manifold Absolute Pressure)	-
EDC	Điều khiển điện tử động cơ diesel (Electronic Diesel Control)	-
PE	Bơm dây	-
VE, VR	Bơm phân phối	-
CR	Hệ thống nhiên liệu tích áp (Common Rail)	-
ECM	Mô đun điều khiển động cơ (Engine Control Module)	-
HEUI	Hệ thống phun nhiên liệu điện tử thủy lực (Hydraulic Electronic Unit Injector)	-
ANN	Mạng nơ ron nhân tạo (Artificial Neural Network)	-
AFR	Tỷ lệ không khí/nhiên liệu (Air Fuel Ratio)	-
MPC	Điều khiển theo mô hình dự báo phi tuyến (Model Predictive Control)	-
RBF	Hàm cơ sở bán kính (Radial Basis Function)	-
HTNL	Hệ thống nhiên liệu	-
ĐKĐT	Điều khiển điện tử	-
ĐCĐT	Động cơ đốt trong	-
QHTT	Quy hoạch tuyến tính	-
QHPT	Quy hoạch phi tuyến	-
QHTN	Quy hoạch thực nghiệm	-
PTHQ	Phương trình hồi quy	-
QHTG	Quy hoạch trực giao	-
PUMA	Phần mềm điều khiển bằng thử động cơ	-
INCA	Phần mềm liên kết với ECU mở	-
AMK	Cụm phanh điện	-
THA 100	Thiết bị điều khiển tải	-

FEM	Chuyển đổi tín hiệu số và tín hiệu tương tự	-
DX6	Phần mềm quy hoạch thực nghiệm	-
φ_s	Góc phun sớm	độ
p_f	Áp suất phun	bar
G_{nl}	Lượng tiêu thụ nhiên liệu	g/h
M_e	Mô men động cơ	Nm
N_e	Công suất động cơ	Hp

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1. Độ rộng xung phun cơ bản (mili giây) theo tốc độ động cơ và tải -----	20
Bảng 1.2. Các hệ số xác định từ thông số đo từ cảm biến-----	21
Bảng 4.1. Bảng thông số kỹ thuật của băng thử -----	71
Bảng 4.2. Thông số kỹ thuật của động cơ AVL 5402 -----	73
Bảng 4.3. Các điểm thử nghiệm tại tốc độ 3000 v/ph -----	80
Bảng 4.4. Các giá trị b_j tại tốc độ 3000 v/ph -----	81
Bảng 4.5. Các điểm thử nghiệm tại tốc độ 2800 v/ph -----	83
Bảng 4.6. Các giá trị b_j tại tốc độ 2800 v/ph -----	83
Bảng 4.7. Giá trị b_j ở các tốc độ khác nhau trên đường đặc tính ngoài -----	84
Bảng 4.8. Giá trị mô men lớn nhất ở đường đặc tính ngoài-----	85
Bảng 4.9. Các điểm thử nghiệm tại tốc độ 1000 v/ph -----	87
Bảng 4.10. Các giá trị b_j tại tốc độ 1000 v/ph-----	87
Bảng 4.11. Các điểm thử nghiệm tại tốc độ 1200 v/ph-----	89
Bảng 4.12. Các giá trị b_j ở các tốc độ khác nhau trên đường đặc tính không tải -----	91
Bảng 4.13. Các giá trị G_{nlmin} , φ_s và p_f ở các tốc độ khác nhau trên đường đặc tính không tải -----	91
Bảng 4.14. Bộ thông số φ_s tối ưu tại các điểm cơ sở-----	94
Bảng 4.15. Bộ thông số p_f tối ưu tại các điểm cơ sở-----	94
Bảng 4.16. M_c tối ưu tại các điểm cơ sở -----	95
Bảng 4.17. Bộ thông số φ_s tối ưu sau khi nội suy-----	95
Bảng 4.18. Bộ thông số p_f tối ưu sau khi nội suy-----	96
Bảng 4.19. M_c tối ưu sau khi nội suy-----	97
Bảng 4.20. So sánh M_c giữa tính toán và thực nghiệm -----	99

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ VÀ ĐỒ THỊ

Hình 1.1. Sơ đồ chung một hệ thống điều khiển	4
Hình 1.2. Sơ đồ bố trí cảm biến lưu lượng khí nạp trong hệ thống EFI [11]	7
Hình 1.3. Sơ đồ nguyên lý chung của một hệ thống phun xăng điện tử [11]	7
Hình 1.4. Thuật toán điều khiển thời gian phun nhiên liệu [10]	8
Hình 1.5. Hiệu chỉnh thời gian phun trong quá trình khởi động	8
Hình 1.6. Đặc tính hiệu chỉnh khi chạy ấm máy	9
Hình 1.7. Đặc tính hiệu chỉnh lượng nhiên liệu phun theo nhiệt độ khí nạp	9
Hình 1.8. Đặc tính hiệu chỉnh lượng nhiên liệu phun khi tăng tốc	10
Hình 1.9. Đặc tính hiệu chỉnh lượng nhiên liệu phun khi giảm tốc	10
Hình 1.10. Đặc tính hiệu chỉnh lượng nhiên liệu phun theo điện áp ac-qui	11
Hình 1.11. Tỷ lệ hòa khí và đặc tính hiệu chỉnh phản hồi	11
Hình 1.12. Sơ đồ hệ thống điều khiển điện tử trên động cơ Mitsubishi 6D1	12
Hình 1.13. Cơ cấu điều khiển xoay bạc xả	13
Hình 1.14. Cấu tạo bơm cao áp Mitsubishi 6D1	13
Hình 1.15. Hệ thống nhiên liệu điều khiển điện tử 3406E trên xe Caterpillar	14
Hình 1.16. Sơ đồ hệ thống phun nhiên liệu thủy lực điện tử HEUI	15
Hình 1.17. Sơ đồ hệ thống điều khiển điện tử HEUI [14]	16
Hình 1.18. Sơ đồ hệ thống nhiên liệu tích áp	16
Hình 1.19. Cấu tạo bơm cao áp của hệ thống nhiên liệu CR	17
Hình 1.20. Cấu tạo vòi phun điện tử	18
Hình 1.21. Vòi phun thạch anh (piezo injector) của Denso [40]	18
Hình 1.22. Qui luật phun nhiên liệu	19
Hình 1.23. Sơ đồ điều khiển thời điểm phun của ECU	19
Hình 1.24. Mô hình mô phỏng một nơ-ron nhân tạo	22
Hình 1.25. Sơ đồ các điểm trong vùng huấn luyện và vùng tính toán [52]	23
Hình 1.26. Sai lệch giữa kết quả tính của mô hình và kết quả đo [52]	23
Hình 1.27. Sai số điều khiển AFR và lượng nhiên liệu phun [53]	24
Hình 1.28. Cấu trúc hệ FES với các bộ mờ hóa (fuzzification) và giải mờ (defuzzification) [55].	24
Hình 1.29. Hàm với 2 thông số đầu vào và 4 thông số đầu ra [55]	25
Hình 1.30. So sánh kết quả dự báo của mô hình FES với kết quả thực nghiệm [55]	26
Hình 2.1. Miền làm việc của động cơ kéo máy phát điện	39
Hình 2.2. Miền làm việc của động cơ dẫn động trực tiếp chân vịt	40
Hình 2.3. Miền làm việc của động cơ trên các phương tiện cơ giới [3]	40
Hình 2.4. Sơ đồ chia lưới-phân vùng làm việc của động cơ	44
Hình 2.5. Sơ đồ xác định các điểm khảo sát	45
Hình 2.6. Mô hình nội suy tuyến tính	46
Hình 3.1. Sơ đồ đối tượng nghiên cứu có và không có nhiễu [24, 26]	49
Hình 3.2. Mô hình đối tượng công nghệ MIMO (nhiều vào, nhiều ra) [24]	50
Hình 3.3. Màn hình giao diện chính của phần mềm DX6	62
Hình 3.4. Màn hình lựa chọn số yếu tố đầu vào và phương pháp quy hoạch thực nghiệm	62
Hình 3.5. Các bước thực hiện cơ bản trên phần mềm DX6	63
Hình 3.6. Lựa chọn hiển thị dạng điểm	63

Hình 3.7. Kiểm tra sự phù hợp của mô hình theo chuẩn Fisher-----	63
Hình 3.8. Dạng phương trình hồi quy tìm được -----	64
Hình 3.9. Khảo sát giá trị của yếu tố đầu ra phụ thuộc các yếu tố đầu vào -----	64
Hình 3.10. Kết quả giải bài toán tối ưu -----	65
Hình 3.11. Ảnh hưởng của nhiệt độ khí nạp lớn tới suất tiêu thụ nhiên liệu của động cơ [64] ----	66
Hình 3.12. Ảnh hưởng của các tham số điều chỉnh tới các tính năng kinh tế kỹ thuật của động cơ [65]-----	67
Hình 3.13. Ảnh hưởng của áp suất phun tới chiều dài tia phun và kích thước hạt nhiên liệu [65] -	68
Hình 3.14. Lưu đồ thuật toán các bước thực hiện bài toán QHTN TG cấp II-----	69
Hình 4.1. Sơ đồ bố trí thiết bị thử nghiệm-----	72
Hình 4.2. Mặt cắt dọc động cơ diesel 1 xy lanh AVL 5402-----	73
Hình 4.3. Mặt cắt ngang động cơ diesel 1 xy lanh AVL 5402 -----	73
Hình 4.4. Động cơ diesel 1 xy lanh AVL 5402-----	74
Hình 4.5. Bảng thử lắp động cơ diesel 1 xy lanh AVL 5402 tại Phòng thí nghiệm-----	74
Hình 4.6. Cấu trúc các FEM trong hệ thống PUMA-----	76
Hình 4.7. Sơ đồ kết nối của hệ thống INCA -----	77
Hình 4.8. Vùng làm việc của động cơ-----	77
Hình 4.9. Các bước xây dựng bộ tham số (φ_s , p_f) tối ưu -----	78
Hình 4.10. Giới hạn vùng làm việc khi khảo sát đường đặc tính ngoài-----	79
Hình 4.11. Thuật toán xác định bộ số liệu φ_s và p_f tại đặc tính ngoài -----	79
Hình 4.12. Mô men thể hiện theo các đường đồng mức tại tốc độ 3000 v/ph -----	81
Hình 4.13. Mô men thể hiện theo không gian ba chiều tại tốc độ 3000 v/ph -----	82
Hình 4.14. Mô men thể hiện theo các đường đồng mức ở tốc độ 2800 v/ph-----	83
Hình 4.15. Mô men thể hiện theo không gian ba chiều tại tốc độ 2800 v/ph -----	84
Hình 4.16. Bộ thông số tối ưu ở đường đặc tính ngoài -----	85
Hình 4.17. Thuật toán xác định bộ số liệu φ_s và p_f tại đặc tính không tải -----	86
Hình 4.18. Giá trị G_{nl} thể hiện theo các đường đồng mức ở tốc độ 1000 v/ph -----	88
Hình 4.19. Giá trị G_{nl} thể hiện theo không gian ba chiều ở tốc độ 1000 v/ph -----	88
Hình 4.20. Giá trị G_{nl} thể hiện theo các đường đồng mức ở tốc độ 1200 v/ph -----	90
Hình 4.21. Giá trị G_{nl} thể hiện theo không gian ba chiều ở tốc độ 1200 v/ph-----	90
Hình 4.22. Bộ thông số tối ưu ở đường đặc tính không tải -----	92
Hình 4.23. Các điểm cơ sở trong bài toán quy hoạch-----	93
Hình 4.24. φ_s tối ưu theo tốc độ và tải trọng động cơ-----	96
Hình 4.25. p_f tối ưu theo tốc độ và tải trọng động cơ -----	97
Hình 4.26. M_e tối ưu theo tốc độ và tải trọng động cơ-----	98
Hình 4.27. Đặc tính toàn tải theo QHTN và đo trên băng thử-----	99

MỞ ĐẦU

Tăng hiệu suất, giảm tiêu hao nhiên liệu và thành phần độc hại của khí thải động cơ cùng với nâng cao tuổi thọ và giảm giá thành là những thách thức lớn và cũng là nguồn động lực cho việc phát triển các công nghệ mới trong ngành công nghiệp ô tô [35, 36]. Do vậy, cùng với sự phát triển của các ngành khoa học, một số lượng lớn các nhà khoa học đã đầu tư rất nhiều thời gian, công sức tập trung nghiên cứu và phát triển các công nghệ mới thân thiện với môi trường để áp dụng cho ngành công nghiệp ô tô [37]. Với mục đích tăng hiệu suất sử dụng nhiên liệu và giảm thiểu lượng phát thải độc hại do các phương tiện giao thông gây ra.

Trong thời gian qua các kết quả nghiên cứu đã thực sự đạt được những thành công và đóng góp đáng kể trong việc phát triển các công nghệ mới cho ngành công nghiệp ô tô thế giới. Trong đó phải kể đến sự phát triển vượt bậc của việc ứng dụng các công nghệ điện, điện tử và điều khiển trong điều khiển các hệ thống của động cơ đốt trong, nổi trội của các ứng dụng này là hệ thống nhiên liệu điều khiển điện tử.

Với các tính năng nổi trội cả về kỹ thuật và kinh tế do hệ thống nhiên liệu điều khiển bằng điện tử đem lại, hiện nay hệ thống này đã được các hãng sản xuất động cơ hàng đầu trên thế giới tập trung đầu tư nghiên cứu, phát triển và đưa vào ứng dụng khai thác trên các sản phẩm của mình. Cùng với sự phát triển chung của nền công nghiệp ô tô thế giới, Việt Nam hiện nay cũng đã khai thác và sử dụng một lượng không nhỏ động cơ sử dụng hệ thống nhiên liệu điều khiển điện tử. Tuy nhiên công nghệ này còn tương đối mới mẻ, hơn nữa hệ thống này thường được sản xuất tách riêng bởi các hãng sản xuất chuyên nghiệp, sau đó cung cấp sản phẩm cho các hãng sản xuất động cơ. Do vậy việc tiếp cận hợp tác, học hỏi và chuyển giao các công nghệ này còn rất hạn chế. Chính vì vậy việc làm chủ công nghệ mới này đang là những thách thức lớn đối với các nhà nghiên cứu sản xuất, khai thác sử dụng, bảo dưỡng và sửa chữa động cơ ở Việt Nam. Hiện nay trong quá trình vận hành khai thác, sử dụng, và bảo dưỡng luôn phải cần có sự hỗ trợ kỹ thuật của chuyên gia các hãng cung cấp. Đặc biệt đối với các động cơ sử dụng hệ thống nhiên liệu điều khiển điện tử sau khi đại tu sửa chữa hoặc cải tiến, dẫn đến một số dữ liệu ban đầu của động cơ bị thay đổi, làm cho động cơ không đảm bảo yêu cầu làm việc tối ưu, tiêu hao nhiên liệu và phát thải vượt quá mức cho phép. Từ những đặc điểm cơ bản đó, đòi hỏi cần phải có bộ dữ liệu mới cho ECU phù hợp với động cơ hiện tại, tuy nhiên đây là công việc phức tạp mà hiện nay vẫn chưa có hướng giải quyết cụ thể. Chính vì vậy đã tạo ra những hạn chế không nhỏ trong quá trình khai thác, sử dụng, cải tiến, bảo dưỡng và sửa chữa các động cơ có hệ thống nhiên liệu điều khiển bằng điện tử. Hơn nữa để tiến tới có nền công nghiệp riêng về động cơ ở Việt Nam theo quy hoạch phát triển ngành công nghiệp ô tô Việt Nam đến năm 2010, tầm nhìn 2020 theo Quyết định 177/2004/QĐ-TTg, thì động cơ phải đạt tỷ lệ sản xuất trong nước 50%. Cùng với yêu cầu khí thải của ô tô, xe mô tô theo Quyết định số 49/2011/QĐ-TTg ngày 1/9/2011 lộ trình áp dụng tiêu chuẩn khí thải đối với xe ô tô, xe mô tô hai bánh sản xuất, lắp ráp và nhập khẩu mới. Thực tế đó đòi hỏi phải chú trọng quan tâm nghiên cứu - phát triển hơn nữa về ứng dụng điện tử trên động cơ hiện đại.