



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Tese de doutorado

Área de Concentração: Calor e Fluidos

**Estudo Experimental da Influência de um Ressonador de Volume
Variável na Massa de Ar Admitida por um
Motor de Combustão Interna**

Leonardo Vinícius Mendes Pereira

Orientador: Prof. Dr. Ramón Molina Valle

Co-Orientador: Prof. Dr. Sérgio de Moraes Hanriot

Belo Horizonte

Dezembro de 2008

Estudo Experimental da Influência de um Ressonador de
Volume Variável na Massa de Ar Admitida por um
Motor de Combustão Interna

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas
Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de
Doutor em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Calor e Fluidos

Orientador: Prof. Dr. Ramón Molina Valle
Universidade Federal de Minas Gerais
Co-Orientador: Prof. Dr. Sérgio de Moraes Hanriot
Instituto Politécnico da PUC Minas

Belo Horizonte
Dezembro de 2008

Resumo

A dinâmica nos condutos de admissão em motores de combustão interna envolve grandezas tais como o comprimento, diâmetro, a rotação do eixo comando de válvulas e demais geometrias e acessórios existentes. Os movimentos alternativos das válvulas de admissão e do pistão produzem fenômenos de geração de ondas de pressão que se propagam pelo conduto. Tais ondas, se oportunamente aproveitadas, podem aumentar a quantidade de massa de ar admitida. No presente trabalho é desenvolvido o projeto e o controle eletrônico de um ressonador de volume variável, visando o aumento de massa de ar admitida no motor. Também é apresentada uma metodologia completa para aproveitamento dos efeitos pulsantes que se propagam pelo conduto de admissão. Um estudo experimental dos volumes requeridos e do melhor posicionamento do ressonador no conduto de admissão foi realizado em banco de fluxo, objetivando analisar sua influência na quantidade de massa de ar admitida pelo cilindro. Após a implementação do controle eletrônico foram realizados testes dinâmicos no banco de fluxo para avaliar a resposta do ressonador eletrônico para os volumes requeridos. Foi avaliado o desempenho do ressonador em dinamômetro de bancada e obtida as curvas características do motor com o ressonador instalado antes e depois da borboleta de controle de carga de um motor de produção seriada. Os resultados mostram o melhor posicionamento e a viabilidade da utilização de um ressonador eletrônico que permita, para cada rotação e carga do motor, ajustar a sintonia com as ondas de pressão no sistema de admissão, de forma a obter ganhos de desempenho para todos os regimes de rotação do motor em plena carga.

PALAVRAS CHAVES: motor de combustão interna, conduto de admissão, ressonador de Helmholtz.

Abstract

The dynamic of intake manifold admission on internal combustion engines involves parameters such as length, diameter, camshaft rotation and other geometries and accessories. The alternative movements of the admission valves and piston produce the phenomena of generation of pressure waves that spread through the conduit. Such waves, if well used, can increase the air mass quantity admitted. In the present work it is developed the project and the electronic control of a resonator of variable volume, with the main goal to increase the volume of air admitted by the engine. It is also presented a complete methodology to use the pulsing effects spreading through the admission conduct. An experimental analysis of the requested valves and resonator position in the intake conduits was evaluated in flow bench, aiming its influence in the amount of mass air admitted by the cylinder. After implementation of the electronic control dynamics tests were performed in flow bench, to evaluate the performance of electronic resonator to the required volume. The resonator's performance has been evaluated on a bench dynamometer. The characteristics curves were obtained from the engine with the resonator installed before and after the throttle. The results show the best position and feasibility of using an electronic resonator enabling, for each engine rotation and load, adjust the pressure waves on intake manifold, therefore improving the engine performance for all engine rotations at full load condition.

KEY WORDS: internal combustion engine, intake manifolds, Helmholtz resonator.

Este trabalho é dedicado a meus pais, Vandeyr e Dayse, a minha avó (Líbia), em especial a minha namorada, Jussara, a todos os meus familiares e a Deus. Sem a compreensão e o apoio de todos não seria possível a sua realização.

Agradecimentos

Muitos foram os que contribuíram para que este trabalho chegasse ao seu final, assinalando meu reconhecimento especial:

ao orientador prof. Dr. Ramón Molina Valle;

ao co-orientador prof. Dr. Sérgio de Moraes Hanriot;

aos amigos da Fiat Automóveis e da FPT Powertrain Technologies;

ao Eng. Leonardo da Mata Guimarães;

aos amigos do Laboratório Banco de Fluxo da PUC Minas;

aos técnicos da PUC Minas Pedro Kapler e Carlos Eduardo dos Santos e ao Eng. Vinícius Maia de Sá pelo auxílio na parte experimental;

à UFMG, instituição responsável pelo programa de pós-graduação;

ao Departamento de Engenharia Eletrônica, em especial ao Eng. Alexandre Pereira Leal, ao Eng. Gabriel Teixeira Braga e ao Prof. Dr. Marcos Antônio Mendes Severo.

ao CNPq, pela bolsa de estudos em uma etapa do trabalho;

à PUC Minas, FPT Powertrain Technologies e a FIAT Automóveis, pela colaboração com o fornecimento de equipamentos, da estrutura, do material e do local para a realização dos testes experimentais;

A todos que me ajudaram de alguma forma, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

Resumo.....	iv
Abstract.....	v
Dedicatória.....	vi
Agradecimentos.....	vii
Sumário.....	viii
Lista de figuras.....	xi
Lista de tabelas.....	xviii
Simbologia.....	xix
1. Introdução.....	1
1.1. Aspectos gerais.....	1
1.2. Estado da arte.....	2
1.3. Escopo do trabalho.....	5
2. Objetivos e relevância.....	5
2.1. Objetivo geral.....	5
2.2. Objetivos específicos.....	5
2.3. Relevância do trabalho.....	6
3. Revisão bibliográfica.....	7
3.1. Introdução.....	7
3.2. Dinâmica dos condutos de admissão.....	8
3.3. Dinâmica dos ressonadores.....	27
3.4. Dinâmica do escoamento através do acionamento das válvulas.....	37
3.5. Ondas Acústicas e suas características.....	38
3.6. Teoria de controle eletrônico.....	43
3.6.1. Introdução.....	43
3.6.2. Motor de corrente contínua.....	43
3.6.3. Inércia efetiva e amortecimento efetivo.....	43
3.6.4. Conversor cc-cc ponte completa efetivo.....	47
3.6.5. O efeito do tempo morto.....	51
3.6.6. Controlador DSP TMS320LF2407 da família C2000.....	53
3.6.7. Análise no domínio da frequência.....	53
3.6.8. Filtros Ativos Passa-Baixas.....	54
3.6.9. Aplicação de dispositivos de controle.....	62
3.7. Testes de desempenho em dinamômetro de bancada.....	64
3.8. Considerações finais.....	65
4. Metodologia.....	66
4.1. Introdução.....	66
4.2. Desenvolvimento do ressonador de volume variável.....	66
4.2.1. Desenvolvimento do sistema mecânico do ressonador de volume variável.....	66
4.2.2. Metodologia experimental e numérica para o controle eletrônico do ressonador.....	72
4.2.2.1. Introdução.....	72
4.2.2.2. Levantamento das curvas de pressão e temperatura.....	75
4.2.2.3. Levantamento da curva do sensor de posição da borboleta.....	79
4.2.2.4. Levantamento da curva do sensor de rotação do eixo virabrequim.....	80
4.2.2.5. Levantamento da curva do Sensor de posição da palheta.....	81
4.2.3. Tratamento de sinais.....	82
4.2.3.1. Tratamento do sinal de pressão.....	83

4.2.3.2.	Tratamento do sinal de temperatura.....	84
4.2.3.3.	Tratamento do sinal de posição da borboleta.....	86
4.2.3.4.	Tratamento do sinal de rotação do virabrequim.....	88
4.2.3.5.	Tratamento do sinal de posição da palheta do ressonador.....	89
4.2.4.	Modelo do sistema de acionamento do ressonador.....	89
4.2.4.1.	Estimação de Parâmetros.....	91
4.2.4.2.	Validação do modelo.....	96
4.2.5.	Projeto do Controlador.....	98
4.3.	Metodologia dos testes em Banco de Fluxo e dinamômetro de bancada.....	106
4.3.1.	Metodologia dos testes em Banco de Fluxo.....	106
4.3.1.1.	Procedimentos para os testes em Banco de Fluxo.....	108
4.3.1.2.	Determinação das dimensões do conduto de admissão de tubo reto.....	109
4.3.1.3.	Influência da abertura e fechamento das válvulas no comportamento da onda de pressão.....	111
4.3.1.4.	Influência do movimento das válvulas e dos pistões na onda de pressão no conduto reto de admissão para o motor funcionando com um cilindro.....	113
4.3.1.5.	Influência da posição do ressonador na onda de pressão no conduto reto de admissão.....	115
4.3.1.6.	Estudo da influência da geometria do ressonador.....	117
4.3.1.7.	Estudo do sistema de admissão completo sem o ressonador.....	118
4.3.1.8.	Estudo da vazão com a inserção do ressonador de volume variável.....	123
4.3.2.	Metodologia experimental dos testes em Dinamômetro de Bancada.....	125
4.3.2.1.	Metodologias utilizadas nos pré-testes realizados no dinamômetro da PUC Minas.....	128
4.3.2.2.	Metodologia utilizada nos testes em dinamômetro elétrico da FPT.....	131
5.	Resultados e análises.....	136
5.1.	Introdução.....	136
5.2.	Testes realizados no Banco de Fluxo.....	136
5.2.1.	Resultados do comportamento da vazão de ar.....	136
5.2.2.	Resultado do comportamento da onda de pressão gerada no conduto de admissão pelo movimento da válvula de admissão (configuração cabeçote).....	138
5.2.3.	Resultados do comportamento da vazão mássica e da onda de pressão considerando a influência do movimento da válvula e do pistão com motor monocilindro.....	140
5.2.4.	Resultados do comportamento da vazão mássica e da onda de pressão considerando a influência do movimento da válvula e do pistão com a presença do ressonador de volume variável.....	142
5.2.5.	Resultados do comportamento da vazão mássica considerando a influência do movimento das quatro válvulas de admissão e do ressonador em um sistema de admissão completo.....	147
5.3.	Testes realizados no dinamômetro de bancada.....	151
5.3.1.	Introdução.....	151
5.3.2.	Testes realizados no dinamômetro da FPT Powertrain Technologies.....	151
5.3.3.	Resultados de Torque, Potência e Consumo Específico em função da variação do volume do ressonador.....	165
5.3.4.	Análise do desempenho do motor em função do volume do ressonador para toda a faixa de operação.....	185

5.3.5.	Considerações finais.....	187
6.	CONCLUSÕES.....	189
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	192
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	194
Anexo A1.....		210
	Modelo das tabelas para aquisição de dados.....	210
A.1.	Modelo das tabelas para aquisição de dados no banco de fluxo.....	211
Anexo A2.....		212
A.2.	Modelo das tabelas para aquisição de dados no dinamômetro de bancada	212
Anexo B.....		215
	Modelo da tela de interface do controle eletrônico aplicado ao ressonador de palheta.....	215
	Tela de interface do controle eletrônico do ressonador implementado	216
Apêndice I.....		217
I.1	Análise de incerteza dos dados obtidos no Banco de Fluxo.....	217
I.1.1.	Incerteza para a medição de vazão.....	217
I.1.2.	Incerteza para a medição de pressão.....	217
I.2.	Análise de incerteza dos dados obtidos no dinamômetro da PUC Minas	218
I.2.1.	Incerteza para a medição de força.....	218
I.2.2.	Incerteza para a medição de rotação.....	219
I.2.3.	Incerteza do raio do dinamômetro.....	219
I.2.4.	Incerteza para a medição de torque.....	219
I.2.5.	Incerteza para a medição de potência.....	220
I.2.6.	Incerteza para a medição de consumo específico.....	221
I.3.	Análise de incerteza dos dados obtidos no dinamômetro da FPT.....	223
I.3.1.	Incerteza para a medição de torque.....	224
I.3.2.	Incerteza para a medição de potência.....	224
I.3.3.	Incerteza para a medição de pressão média efetiva.....	225
I.3.4.	Incerteza para a medição do consumo específico de combustível.....	226
Apêndice II.....		
II.1.	Resultados da validação do controle do ressonador eletrônico de volume variável.....	227
II.2.	Respostas do ressonador eletrônico aos experimentos estáticos e dinâmicos no Banco de Fluxo.....	231
Apêndice III.....		
III.	Resultados dos testes realizados no dinamômetro da PUC Minas.....	235

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1	Onda de pressão em função da posição.....	10
FIGURA 3.2	Pressão na admissão versus ângulo de movimento do pistão.....	11
FIGURA 3.3	Esquema de um pulso de pressão inicial e refletido.....	12
FIGURA 3.4	Variação da pressão na porta da válvula de admissão em função do tempo para uma rotação do eixo comando de válvulas de 200 rev/min (Pereira, 2004).....	14
FIGURA 3.5	Variação da pressão na porta da válvula de admissão em função do ângulo do eixo comando de válvula para um ciclo do motor (Pereira, 2004).....	15
FIGURA 3.6	Influência da geometria e do diâmetro da seção reta do conduto de admissão no rendimento volumétrico do motor (Heisler, 1995).....	16
FIGURA 3.7	Influência do comprimento do conduto de admissão no rendimento volumétrico do motor (Heisler, 1995).....	17
FIGURA 3.8	Rendimento volumétrico versus rotação do motor (Heisler, 1995).....	18
FIGURA 3.9	Efeitos do comprimento do conduto na eficiência volumétrica em um motor Jaguar.....	19
FIGURA 3.10	Motor dois cilindros, horizontal, quatro tempos com coletor de admissão adaptado (Nowakowski e Sobieszczanski, 1999).....	20
FIGURA 3.11	Curva de torque em função dos comprimentos do conduto de admissão (Nowakowski e Sobieszczanski, 1999).....	20
FIGURA 3.12	Curvas de torque (N_o) e potência (M_o) do motor adaptado para o diversos comprimentos do conduto de admissão (Nowakowski e Sobieszczanski, 1999).....	21
FIGURA 3.13	Influência do comprimento do coletor na eficiência volumétrica (Paffrath <i>et al</i> , 1999).....	24
FIGURA 3.14	Modelo de um sistema de admissão com comprimento variável (Paffrath <i>et al</i> , 1999).....	24
FIGURA 3.15	Influência do ponto de inserção da borboleta na eficiência volumétrica em novas tecnologias de sistemas de admissão (Paffrath <i>et al</i> , 1999).....	25
FIGURA 3.16	Diagrama P versus V dentro do cilindro demonstra uma minimização das perdas de bombeando com o sistema de admissão sem borboleta (Ashhab <i>et al</i> , 1998).....	27
FIGURA 3.17	Ressonador de Helmholtz.....	28
FIGURA 3.18	Rendimento Volumétrico versus Rotação do Motor (Heywood, 1998).....	30
FIGURA 3.19	Protótipo do conduto de admissão com o ressonador (Selamet <i>et al</i> , 2001).....	32
FIGURA 3.20	Pressão em função do ângulo do virabrequim para uma rotação do motor de 1780 rev/min, (a) posição 92, (b) posição 93 e (c) posição 91 (Selamet <i>et al</i> , 2001).....	33
FIGURA 3.21	Pressão em função do ângulo do virabrequim para uma rotação do motor de 1780 rev/min, (a) posição 81, (b) posição 86 e (c) posição 72 (Selamet <i>et al</i> , 2001).....	34
FIGURA 3.22	Efeito do Ajuste dos Pulsos de Pressão (Ohata <i>et al</i> , 1982).....	38

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

