



Doctoral Thesis

## Emissions-controlled diesel engine

**Author(s):**

Alfieri, Ezio

**Publication Date:**

2009

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005772658> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 18214

# Emissions-Controlled Diesel Engine

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH  
for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by

Ezio Alfieri

Dipl. Masch.-Ing. ETH  
born 30 August 1979  
citizen of Pedrate, TI

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. L. Guzzella, examiner  
Prof. Dr. H. P. Geering, co-examiner

2009

# Abstract

Legislation concerning the pollutant emissions of diesel passenger cars is becoming increasingly restrictive, especially for NO<sub>x</sub> and particulate matter (PM). A novel approach to control the pollutant emissions in diesel engines is thus proposed that extends the standard feedforward control in the air and fuel path with a true emissions-feedback structure. In order to prove the feasibility of such an approach, a multivariable emissions-feedback controller is designed for the NO<sub>x</sub> emissions and for the air/fuel ratio, which is used as an indicator for the PM emissions, due to the fact that compact and low-cost PM sensors are not yet commercially available. The controlled inputs are the command signal of the exhaust gas recirculation (EGR) valve and the injection timing. Besides the boost pressure that is regulated independently by the standard controller, those are the inputs that most significantly affect the formation of NO<sub>x</sub> and PM emissions. Moreover, with this choice, the resulting 2×2 system is reduced to a convenient triangular structure.

Since the new sensors are sensitive to pressure variations, they have to be placed in the low-pressure tract of the exhaust manifold, i.e., downstream of the turbine. Obviously, time delays due to the gas transport now become relevant for the control system. The multivariable controller proposed consists thus of two separate internal model SISO control (IMC) loops developed with a simplified model of the plant and connected by a decoupling term. The IMC structure has the advantage that can compensate for the time delays in the control loop. Since the controller has to work well in the entire range of operating points, a scheduling of its parameters is necessary. The parameters of the controller are thus generated automatically starting from the engine model in order to reduce the

efforts of calibrating the control system in the entire operating range of the engine.

The validity and feasibility of the proposed control structure is demonstrated experimentally. A test-bench comparison between the emissions-controlled and the standard engine shows that, with this new control structure, the tracking performance and the driveability of the engine during a driving cycle are at least as good as those of the standard engine. The benefits of the novel approach are several; the two most important are the following: 1) The engine can operate in a small range of uncertainty for the  $\text{NO}_x$  and PM emissions even in the case of relaxed manufacturing tolerances and ageing of the injectors and of the EGR valve, and 2) the fuel consumption of the engine can be reduced substantially, if the setpoints for the emissions controller are determined by following an adequate control strategy based on the maximization (within the legislated limits) of the  $\text{NO}_x$  emissions.

# Riassunto

Le norme riguardanti le emissioni dei veicoli a motore stanno diventando sempre più severe, specialmente quelle per le emissioni di  $\text{NO}_x$  e di particelle fini (PM) dei motori diesel. In questa tesi viene quindi proposto un sistema innovativo per il controllo delle emissioni inquinanti dei motori diesel usati nelle autovetture moderne. Con questo nuovo approccio si estende il controllo classico delle emissioni, che si basa principalmente sul pilotaggio del percorso dell'aria e del carburante, con un vero sistema di regolazione per le emissioni. Per dimostrare la fattibilità di tale approccio è stato sviluppato un regolatore multi variabile per le emissioni di  $\text{NO}_x$  e per il rapporto di miscela (AFR) nello scarico. Il segnale di una sonda lambda è usato come indicatore per le particelle, poiché sul mercato non sono ancora disponibili sensori compatti e a basso costo per misurare la concentrazione di PM. Le entrate per il regolatore sono il segnale di comando della valvola per il ricircolo dei gas di scarico (EGR) e il segnale che determina l'angolo di iniezione del carburante. Infatti, oltre alla pressione di sovralimentazione, che è controllata indipendentemente dalla centralina originale del motore, questi sono i due parametri che influenzano maggiormente la formazione di emissioni di  $\text{NO}_x$  e PM. Inoltre, con questa scelta dei parametri, ne risulta un sistema  $2 \times 2$  con una struttura triangolare conveniente per lo sviluppo di un regolatore.

Siccome i nuovi sensori adottati sono sensibili alla variazione di pressione, essi devono essere montati nella parte a bassa pressione dello scarico, quindi dopo la turbina. Ovviamente, i tempi morti dovuti al trasporto dei gas di scarico fino ai sensori diventano rilevanti per il sistema che deve essere controllato. Il regolatore multi variabile proposto consiste quindi in due circuiti indipendenti, basati su una struttura IMC (Internal Model

Control) che è in grado di compensare i tempi morti. Questi due circuiti sono sviluppati partendo da un modello semplificato del percorso da regolare e sono connessi tramite un elemento che disaccoppia i due canali. Considerando che il regolatore deve essere in grado di funzionare adeguatamente in tutto il campo di operazione del motore, è necessaria una parametrizzazione. Vista la complessità del sistema, per ridurre il tempo necessario alla calibrazione del regolatore in ogni punto del campo di operazione, i parametri sono generati automaticamente partendo dal modello matematico del motore.

La validità e la fattibilità del sistema di controllo proposto sono dimostrate sperimentalmente sul banco di prova. Un confronto tra il motore dotato di sistema di regolazione delle emissioni e quello convenzionale mostra che la capacità di seguire un profilo di emissioni e la guidabilità del motore con il nuovo sistema di controllo sono almeno buone quanto quelle del motore convenzionale. I benefici di questo approccio innovativo sono diversi, i più importanti sono i seguenti: 1) il motore può operare in un'area di incertezza più ristretta per quanto riguarda le emissioni di  $\text{NO}_x$  e PM, anche in caso di tolleranze di produzione più rilassate e usura degli iniettori e della valvola EGR, e 2) il consumo di carburante può essere ridotto sostanzialmente, determinando le mappe dei valori desiderati per le emissioni di  $\text{NO}_x$  e AFR secondo un'adeguata strategia basata sulla massimizzazione (entro i limiti consentiti) delle emissioni di  $\text{NO}_x$ .