

Optimal control of diesel engines

modelling, numerical methods, and applications

Doctoral Thesis

Author(s):

Asprion, Jonas

Publication date:

2013

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010050065>

Rights / license:

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

DISS. ETH Nr. 21593

**OPTIMAL CONTROL OF DIESEL ENGINES:
MODELLING, NUMERICAL METHODS, AND APPLICATIONS**

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER WISSENSCHAFTEN
der
ETH ZÜRICH

(Dr. sc. ETH Zürich)

vorgelegt von

JONAS ASPRION
MSc ETH in Mechanical Engineering
geboren am 17.04.1984
von Escholzmatt, LU

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. Lino Guzzella, Referent
Prof. Dr. Moritz Diehl, Korreferent

2013

Abstract

In response to the increasingly stringent emission regulations and a demand for ever lower fuel consumption, diesel engines have become complex systems. The exploitation of any leftover potential during transient operation is crucial. However, even an experienced calibration engineer cannot conceive all the dynamic cross couplings between the many actuators. Therefore, a highly iterative procedure is required to obtain a single engine calibration, which in turn causes a high demand for test-bench time. Physics-based mathematical models and a dynamic optimisation are the tools to alleviate this dilemma. This thesis presents the methods required to implement such an approach. Optimisation-oriented models for the air path and for the in-cylinder processes of diesel engines are derived, and the numerical methods required to solve the corresponding large-scale optimal control problems are presented. The models are shown to be applicable to engines of various sizes and configurations, and a transient experimental validation highlights their accuracy. A self-contained framework for numerical optimal control is implemented. The convergence behaviour and the computational performance of this framework when applied to the problem at hand are analysed. Finally, the resulting optimal control-trajectories over long driving profiles are shown to provide enough information to allow conclusions to be drawn for causal control strate-

Abstract

gies. Ways of utilising this data are illustrated, which indicate that a fully automated dynamic calibration of the engine control unit is conceivable. An experimental validation of the overall approach demonstrates the applicability of these results. The measurement results show that the dynamic optimisation predicts the reduction of the fuel consumption and the cumulative pollutant emissions with a relative error of around 10% on highly transient driving cycles.

Zusammenfassung

Um die stetig strenger werdenden Emissionsvorschriften zu erfüllen und gleichzeitig dem Wunsch nach noch geringerem Treibstoffverbrauch nachzukommen, muss der transiente Betrieb von Dieselmotoren optimiert werden. Um das verbleibende Potential auszuschöpfen, stellt ein aktueller Dieselmotor viele, sich jedoch gegenseitig beeinflussende Aktuatoren zur Verfügung. Selbst ein erfahrener Applikationsingenieur benötigt viele Iterationen, um eine akzeptable Bedatung aller Kennfelder und Reglerstrukturen für dieses komplexe System zu erlangen. Da komplette dynamische Fahrzyklen betrachtet werden müssen, resultiert ein immenser Bedarf an Prüfstandszeit. Das Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung eines Werkzeugs, das den Ingenieur insbesondere für die Applikation des transienten Betriebes unterstützt und somit die kostenintensive Prüfstandszeit reduziert. Auf physikalischen Grundgesetzen bauende, mathematische Modelle für alle Prozesse im Motor sind dazu genauso nötig wie eine numerische Methodik, um schnell und verlässlich dynamische Optimierungsprobleme zu lösen. Die Modelle werden für sich in Grösse und Aufbau unterscheidende Motoren entwickelt und für den transienten Motorbetrieb validiert. Als zweiter Baustein wird ein Framework für die numerische Berechnung von optimalen Steuergrössenverläufen entwickelt und das Optimierungsproblem für Dieselmotoren entsprechend formuliert. Das Vorgehen

Zusammenfassung

ermöglicht die dynamische Optimierung der Steuergrößen über lange Fahrprofile, wodurch genügend Information generiert wird, um daraus kausale Regelstrategien abzuleiten. Es wird aufgezeigt, wie die Resultate der Optimierung verwendet werden können, um automatisch eine für transienten Betrieb optimierte Applikation des Motorsteuergerätes zu erhalten. Die experimentell festgestellte Verlässlichkeit der Voraussagen der Optimierung verleiht diesen Resultaten den nötigen Bezug zum realen Motor.