

Diss. ETH No. 15510

Performance and Driveability Optimization of Turbocharged Engine Systems

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
Simon Andreas Frei
Dipl. Masch.-Ing. ETH
born 28 July 1973
citizen of Leuggern, AG

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. L. Guzzella, examiner
Prof. Dr. G. Rizzoni, co-examiner
Dr. C. Nizzola, co-examiner

2004

Abstract

The demand for individual mobility still increases inexorably, increasing the use of vehicles with combustion engines. Gasoline engines can reach excellent emission values, but they suffer from a lower efficiency than compression ignited engines.

A good way to increase the overall efficiency of an engine-vehicle system is to improve its part-load efficiency. This can be achieved by a turbocharger using the enthalpy in the exhaust gas to drive a compressor, which in turn raises the pressure in the intake manifold. This allows to reduce the engine displacement, which causes lower friction and pumping losses.

The application of a turbocharger implicates two problems, namely the low boost pressure at low engine speeds and the delayed torque development, the latter being due to the additional inertia brought into the system by the rotor of the turbocharger. Whereas the former issue can be reduced by a sophisticated design, the latter is still critical. Many solutions to overcome this problem are presented in literature, but they all entail the need for additional hardware.

The new approach presented in this thesis only needs an automated starting clutch. By opening the clutch partially during the acceleration phase, the engine can speed up and thus increase the exhaust mass flow to the turbine. As the turbine experiences a higher enthalpy flow it produces more torque and thus accelerates faster. The faster increase in speed leads to a faster increase in intake manifold pressure, yielding a faster torque build-up of the engine.

Opening the clutch creates a new degree of freedom which in turn poses the problem of an optimal use of this new input into the system. Therefore a new quality function is defined which considers the driver's wish for a fast as well as a comfortable acceleration.

Furthermore, a mean value model is developed, allowing dynamic simulations of the torque development of turbocharged spark-ignited engines. The quality function and the model are then used to find an optimal torque development of the engine.

The results from the clutch-opening strategy have been tested and verified on a test bench. When starting at a representative load point of the new European driving cycle (NEDC), the time to reach 90% of the full-load torque can be reduced by more than 1.8 s. This is a

reduction in time of 60%.

This new strategy has the potential to increase the acceptance of the fuel-efficient turbocharged engines considerably and thus reduce the need for fossil fuels in individual mobility.

Zusammenfassung

Die Nachfrage nach individuellen Verkehrsmitteln steigt nach wie vor und mit ihr der Bedarf an Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren. Benzinmotoren verfügen über ein ausgezeichnetes Emissionsverhalten, aber unterliegen den Dieselmotoren bezüglich Wirkungsgraden.

Eine gute Möglichkeit, den Gesamtwirkungsgrad von Verbrennungsmotor-Fahrzeugsystemen zu verbessern, besteht darin, den Teillastwirkungsgrad des Verbrennungsmotors anzuheben. Dies kann durch einen Turbolader erreicht werden, welcher die Enthalpie im Abgasstrom nutzt, um einen Verdichter anzutreiben, welcher zu einer Druckerhöhung im Einlasstrakt führt. Dadurch kann der Hubraum des Motors verringert werden, welches zu geringeren Reibungsverlusten führt.

Die Anwendung eines Turboladers bringt zwei Probleme mit sich. Zum einen wird bei zu tiefen Drehzahlen ein zu geringer Ladedruck erreicht, zum anderen verzögert sich der Drehmomentaufbau durch die zusätzliche Massenträgheit, die mit dem Läufer des Turboladers in das System eingebracht wird. Während der erste Punkt durch eine geschickte Auslegung des Turboladers überwunden werden kann, bleibt der letztere kritisch. In der Literatur sind diverse Lösungen vorgeschlagen worden, um dieses Problem zu bewältigen. Sie bedingen aber alle zusätzliche Bauteile und Komponenten.

In dieser Arbeit wird eine neue Lösung präsentiert, welche einzig eine automatisierte Anfahrkupplung benötigt. Durch teilweises Öffnen der Kupplung während der Beschleunigungsphase kann der Motor hochdrehen und somit den Massenstrom durch die Turbine erhöhen. Da die Turbine mit einem grösseren Enthalpiestrom versorgt wird, kann diese mehr Drehmoment erzeugen und somit schneller beschleunigen. Der schnellere Drehzahlaufbau führt zu einem schnelleren Druckanstieg im Saugrohr und somit zu einer schnelleren Entwicklung des Motordrehmoments.

Durch das Öffnen der Kupplung entsteht ein neuer Freiheitsgrad, welcher die Frage nach dessen optimaler Nutzung aufwirft. Zur Beantwortung dieser Frage wird ein Gütekriterium definiert, welches sowohl den Wunsch des Fahrers nach einer schnellen, als auch nach einer gleichmässigen Beschleunigung berücksichtigt.

Weiter wird ein Mittelwertmodell des Motors entwickelt, welches

die dynamische Simulation der Drehmomententwicklung erlaubt. Das Gütekriterium und das Modell werden anschliessend verwendet, um den optimalen Drehmomentverlauf der Kupplung zu bestimmen.

Die Ergebnisse dieser so genannten Kupplungsstrategie wurden auf einem dynamischen Motorenprüfstand getestet und bestätigt. Wird ein typischer Lastpunkt aus dem neuen europäischen Fahrzyklus als Startpunkt gewählt, so kann die benötigte Zeit um 90 % des Volllastmomentes zu erreichen um mehr als 1.8 s reduziert werden. Dies entspricht einer Reduktion der Zeit von 60 %.

Diese neue Strategie hat das Potenzial, die Akzeptanz von verbrauchsgünstigen turboaufgeladenen Motoren markant zu verbessern und damit den Verbrauch von fossilen Brennstoffen im Individualverkehr nachhaltig zu senken.