

Fysikalisk modellering och reglering av motorer

Anders Widd, Reglerteknik, LTH, Lunds Universitet

En populärvetenskaplig sammanfattning av doktorsavhandlingen

Physical Modeling and Control of Low Temperature Combustion in Engines, april 2012.

Avhandlingen kan laddas ner från <http://www.control.lth.se/publications>

En stor del av dagens forskning inom förbränningsmotorer är inriktad på att minska bränsleförbrukning och emissioner, utsläpp. De traditionella bensinmotorerna har förhållandevis låga emissionsnivåer medan dieselmotorerna har en lägre bränsleförbrukning. De förbränningskoncept som studeras i avhandlingen *Physical Modeling and Control of Low Temperature Combustion in Engines* ligger mellan dessa två motortyper. Dessa nya förbränningskoncept kombinerar låga utsläpp och låg bränsleförbrukning i vissa driftsfall. Däremot är de svårare att styra. Medan bensin- och dieselmotorer har direkta styrsignaler som påverkar när förbränningen startar, saknas dessa, eller är betydligt svagare, i de nya koncepten. För att underlätta utformningen av regulatorer, som kan styra motorerna automatiskt, utvecklades matematiska modeller av motortyperna. Regulatorerna utvärderades sedan på motorer i laboratorier.

Föregångarna till dagens förbränningsmotorer har använts för att omvandla kemisk energi till arbete sedan slutet av 1800-talet då Nikolaus Otto och Rudolf Diesel presenterade sina uppfinningar. Nya förbränningskoncept kan minska både mängden utsläpp och bränsleförbrukningen utan att kräva avancerade efterbehandlingsmetoder. Däremot kräver de mer aktiv styrning i form av att inställningarna på motorn måste ändras under körning. Med en regulator kan man ändra inställningarna automatiskt. I avhandlingen *Physical Modeling and Control of Low Temperature Combustion in Engines* studeras modeller och metoder för att utforma regulatorer för två förbränningskoncept som har gemensamt att temperaturen i cylindern är förhållandevis låg. Figur 1 visar en av de laboriemotorer som använts i avhandlingsarbetet.

I. INTRODUKTION TILL MOTORER

För att underlätta förståelsen för de typer av förbränning som modellerats och reglerats i avhandlingsarbetet, följer här en kort beskrivning av det som i dagligt tal kallas bensinmotorer och dieselmotorer.

A. Bensinmotorer

Förbränningen i en bensinmotor är baserad på Otto-cykeln och dess huvuddrag är att en blandning av luft och bränsle antänds med hjälp av ett tändstift. Tidpunkten när förbränningen startar styrs alltså i hög grad av gnistan från tändstiftet. En av fördelarna med bensinmotorer är att de med moderna avgasreningsmetoder har väldigt låga nivåer av skadliga emissioner. Däremot förbrukar de mer bränsle än vad till exempel dieselmotorer gör. Ett mått på mängden bränsle som går åt för att producera en viss mängd arbete är motorns *verkningsgrad*.

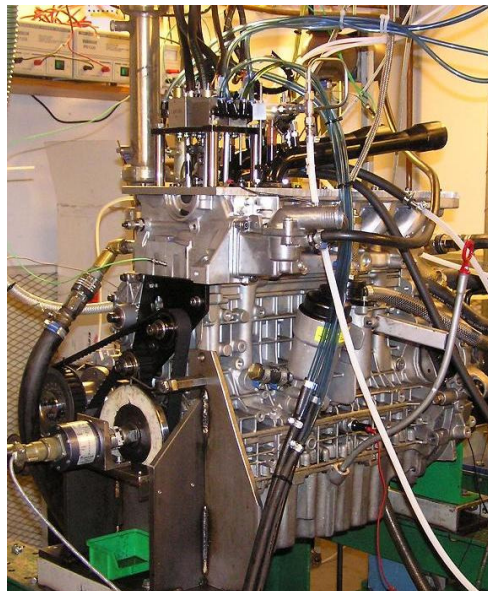


Fig. 1. En laboriemotor som använts i avhandlingsarbetet.

B. Dieselmotorer

I en dieselmotor startas förbränningen när bränslet sprutas in i cylindern. Det finns inget tändstift utan förbränningen startas när bränslet självantänder. Ofta startar förbränningen innan allt bränsle sprutats in. Dieselmotorer har typiskt högre verkningsgrad än bensinmotorer men har istället högre nivåer av sot och kväveoxider i avgaserna.

II. FÖRBRÄNNING VID LÅG TEMPERATUR

De två förbränningskoncept som studerats i avhandlingen kallas HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) och PPC (Partially Premixed Combustion). Det de har gemensamt är att temperaturen vid förbränning är lägre än i de konventionella motorerna, samt att bränslet fått mer tid att blandas med luften innan självantändning inträffar. Dessa faktorer leder till att en mindre mängd kväveoxider produceras samtidigt som man undviker sotbildning och åstadkommer en hög verkningsgrad.

A. HCCI

I en HCCI-motor startar förbränning via självantändning på samma sätt som i en dieselmotor. Skillnaden är att bränslet är förblandat med luften vilket påminner om en konventionell bensinmotor. Resultatet blir att förbränningen sker mera likformigt i cylindern. Med HCCI kan man förbättra bränsleförbrukningen markant jämfört med bensindrift och samtidigt ha låga emissionsnivåer jämfört med dieseldrift.

En utmaning med HCCI är att tidpunkten när förbränningen startar inte styrs av någon direkt händelse såsom gnistan från tändstiftet i en bensinmotor eller bränslein-sprutningen i en dieselmotor. Istället avgörs självantändningstillfället av vilken temperatur och sammansättning gasen hade när den började komprimeras. Inställningarna som avgör dessa faktorer måste justeras för att få ett önskat förbränningsförlopp. En regulator kan göra dessa justeringar på ett automatiskt sätt och dessutom väldigt snabbt, till exempel mellan två motorcykler, det vill säga vartannat motorvarv i en fyrtaktsmotor.

B. PPC

PPC är ett mellanting mellan HCCI- och dieseldrift. Man sprutar in bränslet under kompressionen som i konventionell dieseldrift, men insprutningen kommer så tidigt att bränslet får tid att blandas med luften. Detta ger liknande goda egenskaper som HCCI men är enklare att uppnå och är mindre känsligt för störningar i till exempel temperaturen på insugsluften.

III. SAMMANFATTNING AV AVHANDLINGENS BIDRAG

För att underlätta utformningen av regulatorer används ofta matematiska modeller. Den typ av modeller som använts i avhandlingen är härledda huvudsakligen från fysikaliska samband och är av förhållandevis låg komplexitet. Detta medför att de resulterande modellerna går att anpassa till flera olika motorer med samma driftsprincip. Den modellbaserade lösningen medger även användning och tolkning av indirekta mätningar för utformning av regulatorer eller optimering med hjälp av datorer.

A. Modellering av HCCI

I avhandlingen presenteras en modell av HCCI som beskriver hur temperaturerna i cylindern förändras mellan två på varandra följande cykler. Modellen beskriver också på ett förenklat sätt hur värmeöverföring mellan gaserna och cylinderväggen påverkas. Värmeöverföringseffekter kan ha en markant inverkan på förbränningen och modellen beskriver huvuddragen i denna inverkan. Modellen har även en struktur som gör den lämplig att använda vid utformning av regulatorer.

B. Reglering av HCCI

Baserat på modellen utformades regulatorer av en typ som kallas *Model Predictive Control*, ungefär "modellprediktiv reglering", vilket innebär att man med hjälp av modellen gör en prediktion om hur motorn kommer att bete sig inom den närmaste framtiden och räknar ut de optimala inställningarna. Man gör sedan om prediktionen och uträkningarna varje gång man får tillgång till nya mätningar från motorn. Regulatorn utvärderades i laboratorieexperiment och visade

sig prestera bra jämfört med regulatorer baserade på andra modelltyper.

HCCI-motorer beter sig väldigt olika i olika delar av sitt arbetsområde. Det innebär att en modell som ger en bra beskrivning av motorn i en viss driftspunkt kan vara felaktig i en annan. Med hänsyn till detta implementerades en regulator som använder sig av flera modeller som vardera beskriver beteendet kring en viss arbetspunkt. Möjligheten att kunna förutse att motorns beteende snart kommer förändras drastiskt ledde till förbättrad prestanda.

C. Modellering och optimering av PPC

I avhandlingen presenteras även en modell av PPC som är aningen mer komplicerad än den av HCCI. Medan målet med HCCI-modellen var att beskriva beteendet från en cykel till en annan är syftet med PPC-modellen istället att beskriva hur trycket, temperaturen och det insprutade bränslet förändras inom en enskild cykel. Det är svårare att använda en modell av den här typen för att utforma regulatorer. Med hjälp av speciell mjukvara kan man dock, på ett automatiskt sätt, kalibrera modellens parametrar för att få en bra beskrivning av motorns beteende. I figur 2 visas trycket inne i en motorcylinder från laboratorieexperiment och jämförs med det tryck modellen förutser med felaktiga parametervärden och med optimerade parametrar.

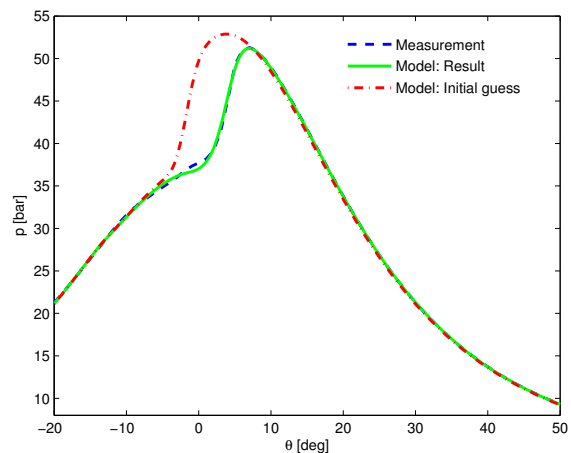


Fig. 2. Uppmätt tryck från en riktig motor (streckad linje), predikterat tryck från modellen med initiala parametervärden (streckprickad linje) och med optimerade parametervärden (heldragen linje).

IV. REFERENSER

Anders Widd, *Physical Modeling and Control of Low Temperature Combustion in Engines*, PhD Thesis, TFRT-1090-SE, Department of Automatic Control, Lund University, Sweden, 2012.