

TSFS09 – Modellerung och Reglering av Motorer och Drivlinor (MoDr)

Fö 1 – Kursinformation, Grundläggande om motorn,
Medelvärdesmodellering för luft och bränsle

Lars Eriksson - Kursansvarig

Fordonssystem, Institutionen för Systemteknik
Linköpings universitet
larser@isy.liu.se

August 31, 2020

2/47

Innehållsförteckning

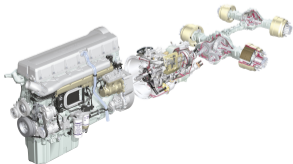
- 1 Kursinformation
- 2 Grundläggande om motor
- 3 Motor – Principer
- 4 Medelvärdesmodellering

3/47

Modellerung och Reglering av Motorer och Drivlinor

Kursens Mål är att ge er:

- bakgrund och förståelse för de styrsystem som finns för motor och drivlina
- grunden för att utveckla framtidens styrsystem för motor och drivlina



4/47

Om Kursens Mål

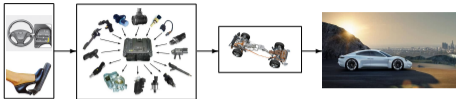
Vilka är de viktigaste egenskaperna för ett fordon?

- effektivt arbete = låg bränsleförbrukning
- låga emissioner = god miljö
- körbarhet
- säkerhet

-Styrsystemen har fundamental betydelse för vi skall att nå dessa!

5/47

Uppgiften för motor och drivlinestyrningen



Uppgiften

- Omvandla sensordata till styrdata
- Uppfylla förarens önskan om körupplevelse
- Uppfylla lagstiftade utsläppskrav
- Säkerställa säker drift av framdrivningssystemet

6 / 47

Genomgång av kursinformationen

Information om projektuppgifter

<http://www.fs.isy.liu.se/Edu/Courses/TSFS09/>

Rapportinlämning och uppföljning

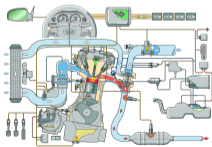
<http://lisam.liu.se/TSFS09> (Under uppbyggnad)

Viktiga punkter

- Uppgiftsdelen är 3 miniprojekt (utförs i grupper om max 2)
- Följer målen på förra OH
- Projekt 3+2+1 hp
- Sju inlämningar - Se hemsidan för datum
- Inlämningar och uppföljning i Lisam.
- Fritt schemalagd moment 1A (motormätningen), 1h genomgång och besök i motorlaget
–Anmälninglista, annonseras via Lisam efter Fö 2.
–Obligatorisk närvaro i motorlabbet.
- Individuellt "lönesamtal" (några korta frågor på projekten)
- Godkända projekt ger betyg 3. Skriftlig tentamen för högre betyg 4 & 5.

7 / 47

Frivillig laboration?



Samarbete m. M-verkstan

- Fullständig demontering av en turbomotor, och därefter ihopmontering.
- Utförs på helgtider i grupper om fem och startar kl 09.00.
- Slut senast kl 17 (det kan gå fortare).
- Intresseanmälan - Mail och Zoom frågestunden.
- Anmälninglista - Funderar på smidig lösning...

8 / 47

Vad finns det för svårigheter?

Hur beskriver man och var köper man en givare för:

- effektivt arbete
- låga emissioner
- körbarhet
- säkerhet

I kursen får ni exempel på hur färdigheter från, Kemi, Mekanik, Reglerteknik, Elektronik, Mätteknik, Analys, Linjär algebra, Programmering, m.fl. används i ingenjörsarbeten inom Mekatronik.

9 / 47

Styrsystemens vikt

Styr- och reglersystem är idag fundamentala för att få önskad prestanda.

Exempel:

- Effektivt arbete:
Det finns flera ledtrådar t.ex. tryck eller varvtalsvariationer.
- Låga emissioner:
Sensortolkning och utvärdering. Nya sensorer. Diagnos.
- Körbarhet:
Tolkning av förarens signaler och reglerdesign av trampsvar.
- Säkerhet:
ABS, styrstabilitet (TSFS02), funktioner för systemskydd.

10 / 47

Styrsystemens vikt

Dessutom förbättras pris och prestanda av:

- Nya lösningar
- Samdesign
(Jämför med det mer allmänt kända att styrsystem möjliggör nya flygplanstyper t.ex. "instabila" .)
- Exempel:
Nya motorlösningar: variabla ventiltider, SVC, ..
Nya drivlinelösningar: 42 V, starter-generator, hybrider, ...

11 / 47

Innehållsförteckning

- 1 Kursinformation
- 2 Grundläggande om motor
 - Principer
 - Luft och bränsle
- 3 Motor – Principer
- 4 Medelvärdesmodellering

12 / 47

Ett exempel

Chrysler 2.2 liter 70-talet

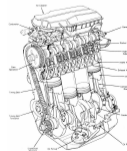
Grunddesignen innehåller samma komponenter idag.

Kontinuerlig förfining

Motordelen behandlar *inledningsvis* fyrtakts Ottomotorer (bensinmotor)

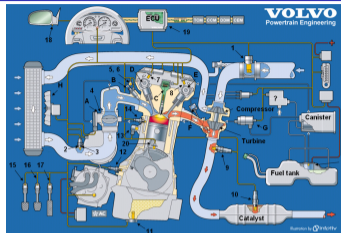
Reklampaus

⇒ Frivilliga laborationen.



13 / 47

Ett till exempel – Turbomotor



14 / 47

Sensorer and Aktuatorer

Aktuatorer:

- A. Trottel
- B. Bränsleinjektorer
- C. Fändstift
- D. I/VVT (Inlet Valve, Variable Timing)
- E. E/VVT (Exhaust Valve, Variable Timing)

- F. TCV (Turbo Control Valve)
- G. EVAP-ventil
- H. Fläkt
- I. Bränslepump

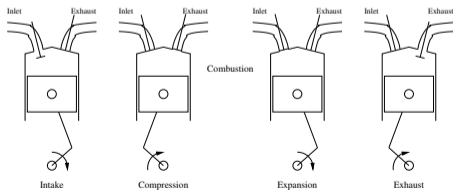
Sensorer:

- 1. Luftmassflöde
- 2. Inmattryck
- 3. Inmattemperatur
- 4. Trottelvinkel
- 5. Bränsletryck
- 6. Bränsltemperatur
- 7. Inmatventiltiming
- 8. Avgasventiltiming
- 9. Linjär lambda sensor
- 10. Binär(diskret) lambda sensor

- 11. Oljetemperatur
- 12. Oljetryck
- 13. Knäcksdetektor
- 14. Kylvattentemperatur
- 15. Kopplingspedal
- 16. Bromspedal
- 17. Gaspedal
- 18. Omgivningstemperatur
- 19. Omgivningstryck
- 20. Vevaxelvinkel och motorvarvtal

15 / 47

Fyrtaktsprincipen



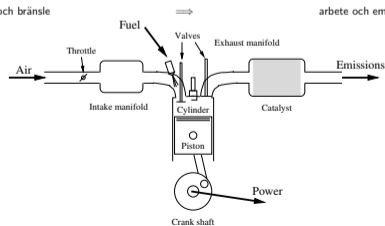
En cykel = 2 varv = 4π ($= n_r, 2\pi$, med $n_r = 2$)

16 / 47

En viktig bild

Luft och bränsle

arbete och emissioner



17 / 47

Innan vi går in på grundläggande beskrivning och principer

-Vad är det som är svårt?

-Vilka ambitioner (drömmar) finns?

18 / 47

Vad är luft?

Constituent	Symbol	Molar mass	Volume [%]	Mass [%]
Oxygen	O_2	31.999	20.95	23.14
Nitrogen	N_2	28.013	78.09	75.53
Argon	Ar	39.948	0.93	1.28
Carbon dioxide	CO_2	44.010	0.03	0.05
Neon	Ne			
Helium	He			
	\vdots			

En enkel modell

- Syre är syre.
- Allt annat är atmosfärsiskt kväve.

$$\text{Air} = O_2 + 3.773 N_2$$

20 / 47

Innehållsförteckning

- 1 Kursinformation
- 2 Grundläggande om motor
- 3 Motor – Principer**
 - Luft
 - Bränsle
 - Förbränning och luft/bränsle-förhållande
- 4 Medelvärdesmodellering

19 / 47

Bränsle

Fuel	Carbon	Hydrogen	Sulphur
100-octane petrol	85.1	14.9	0.01
Motor petrol	85.5	14.4	0.1
Diesel oil	86.3	13.6	0.9

Kemisk energi till termisk energi (värme)



Energivärde för ett bränsle:

q_{HHV} – Higher heating value (vattnet i vätskeform *kondensering*)

q_{LHV} – Lower heating value (vattnet i gasform)

Isooktan C_8H_{18} – ett vanligt referensbränsle

$$q_{HHV} = 47.8 \text{ [MJ/kg]}$$

$$q_{LHV} = 44.3 \text{ [MJ/kg]}$$

21 / 47

Energibärande och energitäthet

Vikt för 1 kWh för olika alternativa energikällor.

(Källa: Ny Teknik 4 april 1996.)

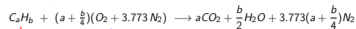
Storage medium	Weight/kWh
Lead Acid	34 kg
Nickle Cadmium	18 kg
Natrium Sulphur	10 kg
Lithium Ion	10 kg
Lithium Composite	7 kg
Air Zink	4.5 kg
Gasoline	0.1 kg

- Bensin och diesel är (och kommer att vara) "lätt" drivmedelsalternativ för fordon.
- Alternativa bränslen i form av kolväten (biobränslen) dyker upp.

22 / 47

Förbränning och stökiometri

- Perfekt förbränning av ett kolväte



- Stökiometriskt luft/bränsle-förhållande

$$(A/F) = \frac{m_a}{m_f} \text{ and } (A/F)_s = \frac{(a + \frac{b}{4})(2 \cdot 16.00 + 3.773 \cdot 2 \cdot 14.007)}{12.01 a + 1.008 b}$$

- Normaliserat luft/bränsle-förhållande

$$\lambda = \frac{(A/F)}{(A/F)_s} \text{ och } \phi = \frac{1}{\lambda}$$

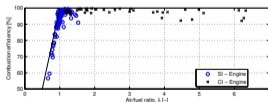
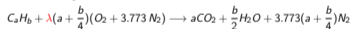
Frigjord värme och en enkel modell

$$Q = \min(\lambda, 1) \cdot m_f \cdot q_{LHV}$$

23 / 47

Luft/Bränsleförhållande och bränsleomvandlingsgrad

Perfekt $\lambda = 1$ förbränning av ett kolväte



Fuel/air equivalence ratio $\phi = \frac{1}{\lambda}$

Frigjord värme och en enkel modell

$$Q = \min(\lambda, 1) \cdot m_f \cdot q_{LHV}$$

24 / 47

Innehållsförteckning

- Kursinformation
- Grundläggande om motor
- Motor – Principer
- Medelvärdesmodellering
 - Exempel på stegsvar
 - Trottelmodellering: Rörelse, reglering, luftflöde
 - Trottefflöde

25 / 47

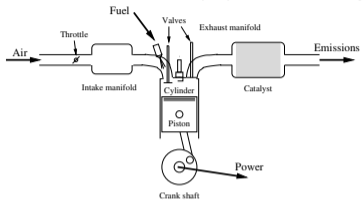
Medelvärdesmodellering

Användning i industrin:

Reglera luft och bränsle.

Simulera/analysera.

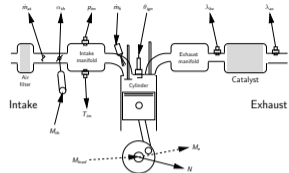
Diagnostisera.



26 / 47

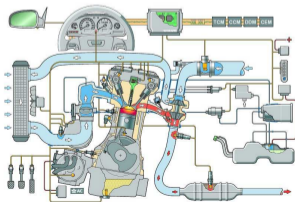
Ett sensor - aktuator perspektiv

Samband mellan aktuator och sensorer samt sensorer inbördes.



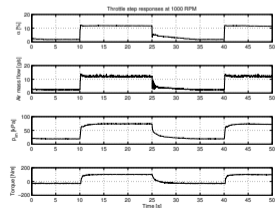
27 / 47

Stegsvar: Trottelt \rightarrow Luftmassflöde, Insugstryck, Moment



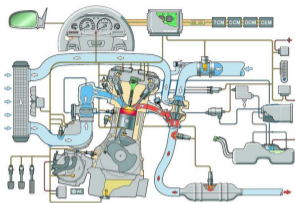
28 / 47

Stegsvar: Trottelt \rightarrow Luftmassflöde, Insugstryck, Moment



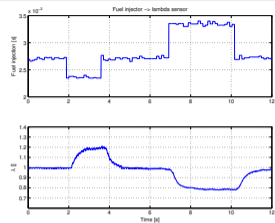
29 / 47

Stegsvar: Bränsleinjektor → Lambda sensor



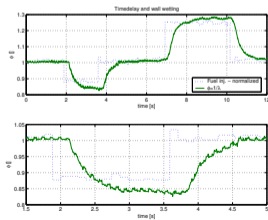
30 / 47

Stegsvar: Bränsleinjektor → Lambda sensor



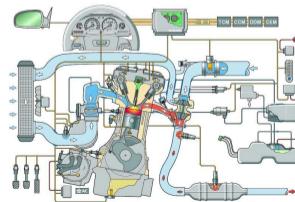
31 / 47

Stegsvar: Bränsleinjektor → Lambda sensor



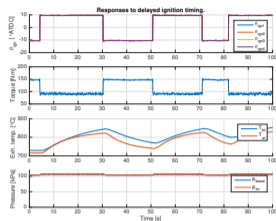
32 / 47

Stegsvar: Tändning → Moment, Temperatur, Tryck



33 / 47

Stegsvar: Tändning → Moment, Temperatur, Tryck



Varierar bara när tändningen sker

Bränsle konstant:

- Effektivitet
- Avgastemperaturer
- Snabb och Långsam dynamik.

34 / 47

Medelvärdesmodeller – MVEM

Mean value engine models (MVEM)

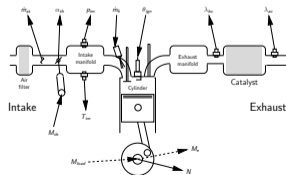
Approximativa tidsskalor (det finns ingen skarp gräns):

- changes that take in the order of $\sim 3-1000$ cycles to reach their final state are expressed by differential equations.
- changes faster than 1 cycle are expressed by static relations.
- changes slower than 1000 cycle are expressed by constants.

35 / 47

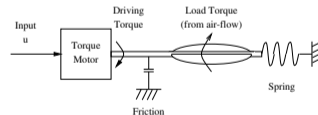
Modellering – Delsystem

Trottelvinkel, luftflöden (\dot{m}_{2t} , \dot{m}_{2c}), tryck p_{0t} , bränsleinjektor, bränsle film, transport av luft/bränsle, katalysator, sensorer, samt moment.



36 / 47

Modell 1: Trottelrörelse



Drivande moment, $M_{th} \Rightarrow$ Trottelvinkel, α

Rörelsedynamik, DC-motor med återföringsfjäder (Newtons 2a lag)

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + a \frac{d\alpha}{dt} = b \cdot (M_{th} - M_{air}) - c \cdot (\alpha - \alpha_0)$$

Modellering av M_{air} är inte lätt (montering och aerodynamic)

Användning: Reglerdesign av trottelservo.

37 / 47

Modell 2: Trottel med trotteltregulator

- System med trottelservo + trotteltregulator

$$\alpha = G_{th}(s)\alpha_{ref}$$

- Behövs en dynamisk modell?

$$G_{th} = \frac{1}{sT_{th} + 1}$$

- Behövs en andra ordningens modell?

Kärnfrågor vid modellering

- Vad skall modellen användas till?
- Varken noggrannhet behövs?

38 / 47

Luftintag – Luftflöde

Luftflöde förbi gasspjäll (trottel)

Allmän ekvation för strypning

$$\dot{m}_{zt} = \frac{p_{amb}}{\sqrt{R T_{amb}}} \cdot A \cdot C \cdot \Psi(\Pi)$$

A – area

C – "discharge coefficient" (formen på strypningen)

$\Psi(\Pi)$ – olinjär funktion av tryckförhållandet

$$\Pi = \frac{p_{im}}{p_{amb}}$$

p_{amb} – tryck före

p_{im} – tryck efter

39 / 47

Luftintag – Olinjäritet

$$\Psi(\Pi) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \left(\Pi^{\frac{2}{\gamma}} - \Pi^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right)} & \Pi > \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \\ \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \left(\left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{2}{\gamma-1}} - \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right)} & \Pi \leq \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \end{cases}$$

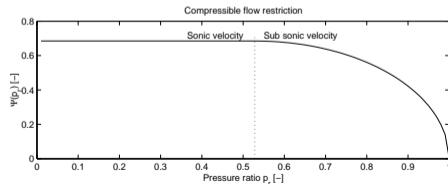
Flödes hastigheten begränsas av ljudhastigheten och den kritiska tryckkvoten är

$$\Pi_{crit} = \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

där $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$.

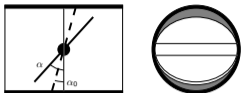
40 / 47

Luftintag – Olinjäritet 2



41 / 47

Luftintag – Area



Gasspjäll med definition av vinkel för stängt spjäll α_0 och verklig vinkel α i förhållande till spjällhuset.

Högra figuren visar flödesarea.

$$A_{th} = A_{th}(\alpha)$$

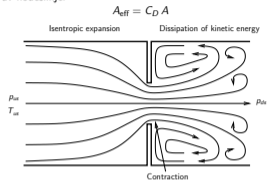
$$C_{th} = C_{th}(\alpha)$$

$$Q_{th}(\alpha) = A_{th}(\alpha) C_{th}(\alpha)$$

42 / 47

Kontraktion – Discharge coefficient

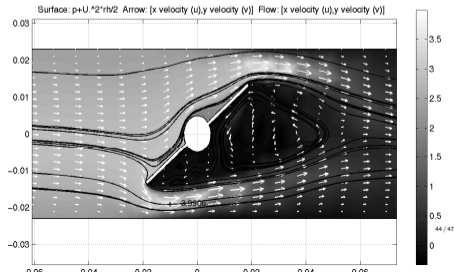
Sammandragning av flödeslinjer



$$A_{eff} = C_D A$$

43 / 47

Effektiv area $A_{eff}(\alpha) = A_{th}(\alpha) C_{th}(\alpha)$



44 / 47

Modell 3: Luftintag – Ett system

Regulator för luftflödet och trottlet.

$$\dot{m}_{at} = G_{at}(s) \dot{m}_{at,ref}$$

Statiskt eller dynamiskt system?

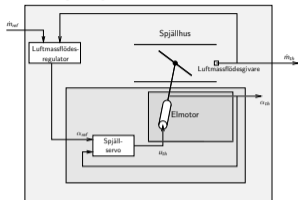
$$G_{at}(s) = \frac{1}{sT_{at} + 1}$$

Andra ordningens system?

45 / 47

Sammanfattning av modellerna

Komplett system efter två reglerdesigner.



I projektet: $\alpha_{ref} \rightarrow \alpha + \Psi(\Pi)$ -modellen för massflöde.

46 / 47

Innehållsförteckning

- 1 Kursinformation
- 2 Grundläggande om motor
 - Principer
 - Luft och bränsle
- 3 Motor – Principer
 - Luft
 - Bränsle
 - Förbränning och luft/bränsle-förhållande
- 4 Medelvärdesmodellering
 - Exempel på stegsvar
 - Trottelmodellering: Rörelse, reglering, luftflöde
 - Trottelflöde

47 / 47