

TSFS09 – Modellering och Reglering av Motorer och Drivlinor – Fö 06

Motor – MVEM och Turbo

Lars Eriksson - Kursansvarig

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

November 4, 2019

2 / 39

Innehållsförteckning

Kursinformation

Motor – Repetition

Motor – MVEM forts. Temperaturer

Motor – Överladdning och nedskalning

Motor – Turbo prestanda och modellering

3 / 39

Kursinformation

- ▶ Förra perioden (Projekt 1)
 - ▶ Grundläggande motor
 - ▶ Arbetsprinciper
 - ▶ Emissioner
 - ▶ Motorreglering
- ▶ Denna period (Projekt 2 + 3 + Tenta):
 - ▶ Turbo modellering (Proj 2 del 1)
 - ▶ Turbo reglering (Proj 2 del 2)
 - ▶ Motor fördjupning
 - ▶ Tändningsreglering
 - ▶ Turbo
 - ▶ Diesel
 - ▶ Avancerade motorkoncept
 - ▶ Diagnos
 - ▶ Drivlina modellering (Proj 3 del 1)
 - ▶ Drivlina reglering (Proj 3 del 2)

4 / 39

Innehållsförteckning

Kursinformation

Motor – Repetition

Motor – MVEM forts. Temperaturer

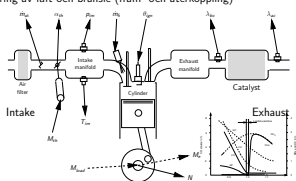
Motor – Överladdning och nedskalning

Motor – Turbo prestanda och modellering

5 / 39

Motor – Repetition

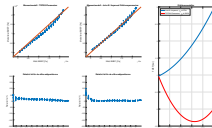
Medelvärdesmodellering
 Inomcykelmodeller: pV-diagram, Momentmodellen
 Reglering av luft och bränsle (fram- och återkoppling)



6 / 30

Momentmodell och Data

Tidigare momentmodell och motivet till den som används nu.



MK metoden anpassar parametrarna skamlöst till data...

7 / 30

Generell modellingsstrategi

Repetition – viktiga storheter

- ▶ Tryck p
- ▶ Massflöde \dot{m}
- ▶ (Temperatur T)

Metodik = Söndra och härska

Kontrollvolym – Restriktion – Kontrollvolym – Restriktion – ...

- ▶ Volymerna i rör – Kontrollvolymer
 Mass- & energi-bevarande
 Differkvationer: $\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{in}(\cdot) - \dot{m}_{out}(\cdot) \Rightarrow \frac{dp}{dt} = \dots$
- ▶ Komponenter som styr flödet – Restriktioner eller pumpar
 Mass- & energi-transport
 Statiska ekvationer: $\dot{m}_{in}(\cdot) = f(\Delta p, \dots)$

8 / 30

Modeller för massflöden

Olika modeller beroende på flödeskaraktäristik.

- ▶ Är flödet turbulent eller laminärt?

$$Re = \frac{\rho U d}{\mu} = \text{ / pipe flow /} = \frac{\rho \frac{\dot{m}}{\rho A} d}{\mu} = \frac{4 \dot{m}}{\pi d \mu}$$

$Re > 5000$ flödet är turbulent
 $Re < 2000$ flödet är laminärt

- ▶ Med vilken hastighet strömmar gasen?
 $U < 70$ m/s inkompressibelt flöde
 $U > 70$ m/s kompressibelt flöde
- ▶ De flesta flöden i motorer är:
 –turbulenta
 –inkompressibla
- ▶ Vissa reglerventiler kräver kompressibla flödesmodeller

9 / 30

Inkompressibelt flöde

► Laminärt flöde

$$\Delta p = C_{lam} \frac{R T_{us}}{\rho_{us}} \dot{m} \iff \dot{m} = \frac{1}{C_{lam}} \frac{\rho_{us}}{R T_{us}} \Delta p$$

där C_{lam} är en komponentkonstant och $\frac{R T_{us}}{\rho_{us}}$ beskriver inloppsdensiteten.

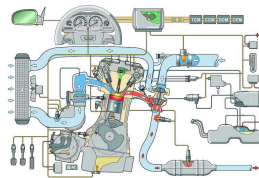
► Turbulent flöde

$$\Delta p = C_1 \rho_{us} U^2 = C_2 \frac{R T_{us}}{\rho_{us}} \dot{m}^2$$

$$\dot{m} = C_3 \sqrt{\frac{\rho_{us} \Delta p}{R T_{us}}}$$

► Båda innehåller densitets "korrektion" $\rho_{us} = \frac{R T_{amb}}{p_{us}}$

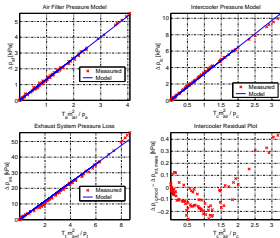
Inkompr. – Intercooler, luftfilter och avgassystem



10 / 39

11 / 39

Validering – Intercooler, luftfilter och avgassystem



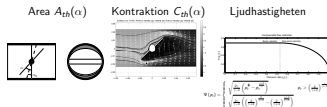
12 / 39

Kompressibelt flöde

Kompressibel isentropisk strömning genom en strypning

$$\dot{m}_{2t}(\alpha, p_{amb}, T_{amb}, \Pi) = \frac{p_{amb}}{\sqrt{R T_{amb}}} \cdot A_{th}(\alpha) \cdot C_{th}(\alpha) \cdot \Psi(\Pi)$$

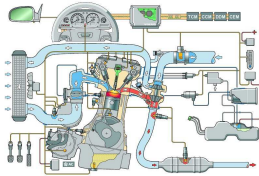
Ett exempel: Trotteln



$$\Psi(\alpha) = \frac{\sqrt{\frac{p_{amb}}{p_{2t}} \left(\frac{p_{2t}}{p_{amb}} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}}}{\sqrt{\frac{p_{amb}}{p_{2t}} \left(\frac{p_{2t}}{p_{amb}} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}}} \quad \alpha = \left(\frac{A_{th}}{A_{2t}} \right)^2$$

13 / 39

Kompressibelt flöde – Trottel och andra styrventiler



14 / 39

Innehållsförteckning

Kursinformation

Motor – Repetition

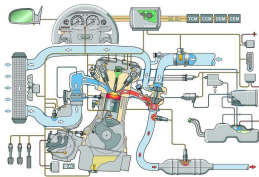
Motor – MVEM forts. Temperaturer

Motor – Överladdning och nedskalning

Motor – Turbo prestanda och modellering

15 / 39

Mer om medelvärdesmodellering av motorer



16 / 39

Temperaturmodeller – Intercooler

Flödesrestriktionsmodell enligt ovan
Temperaturmodell baserad på effektivitet

$$\varepsilon_{ic} = \frac{T_c - T_{ic}}{T_c - T_{cool}}$$

–Bestäm $\varepsilon_{ic}(\dot{m}_{ic}, T_{cool}, \dot{m}_{cool}, \dots)$ från motormapp.
–Använd modellen

$$T_{ic} = T_c - \varepsilon_{ic}(\dots)(T_c - T_{cool})$$

I projektet: Perfekt intercooler, $T_{ic} = T_{cool}$.

17 / 39

Temperaturmodeller – Avgastemperatur

Modelleringsprinciper

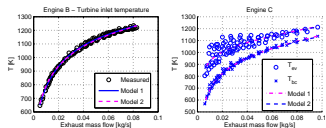
- ▶ Överbliven energi från den termodynamiska cykeln.
- ▶ Värmeöverföring från avgasrör, turbin och katalysator till omgivningen.

Omfattande material i boken

- ▶ Huvudbudskap:
–Det finns modeller!

Avgastemperatur – Statisk modell – Validering

Temperaturen – starkt massflödesberoende

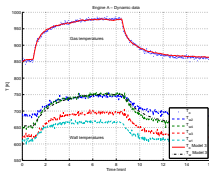


18 / 39

19 / 39

Avgastemperatur – Dynamisk modell – Validering

Dynamik: Gas (0.2s) - Sensor (2s) - Väggtemperatur (200s)



20 / 39

21 / 39

Innehållsförteckning

Kursinformation

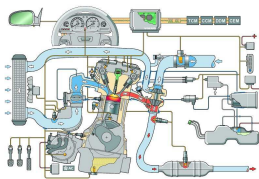
Motor – Repetition

Motor – MVEM forts. Temperaturer

Motor – Överladdning och nedskälning

Motor – Turbo prestanda och modellering

Grundläggande om turbo



22 / 39

Överladdning – Supercharging

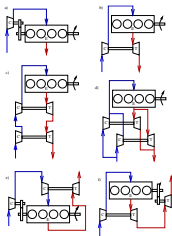
Definition – Från kompendiet

"Supercharging is the collected name for several methods that increase the intake air density, i.e. methods that charges extra air to the cylinder, and one particular method is called turbocharging."

23 / 39

Metoder för överladdning

- a) Mekanisk överladdning
- b) Turboladdning
- c) Tvåstegs turbo, seriell
- d) Tvåstegs turbo, parallell
- e) Motordriven kompressor
- f) Turboladdning med turbocompound

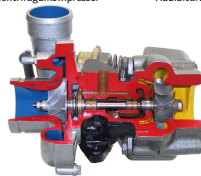


24 / 39

Ett turboaggregat

Centrifugalkompressor

Radialturbin



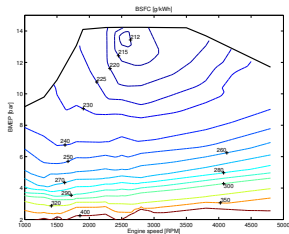
25 / 39

Nedskälning och överladdning

Betrakta ett fordon som kan utrustas med två olika motorer.

- ▶ Varför ger en stor motor högre bränsleförbrukning än en liten?
- ▶ Svaret ligger i att motorn alltid körs på dellast.

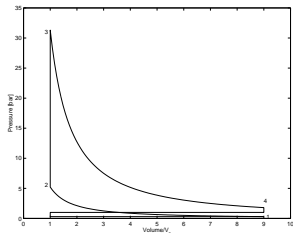
Nedskälning – Dellastförluster



26 / 39

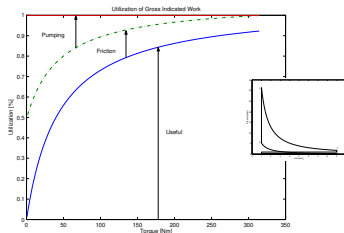
27 / 39

Hur utnyttjas bruttoarbetet?



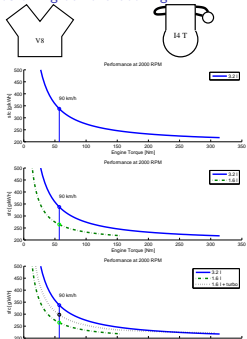
28 / 39

Hur utnyttjas bruttoarbetet (i en 3.2 liters motor)?



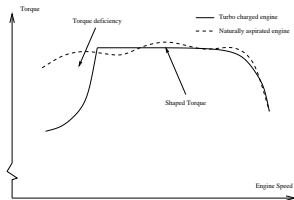
29 / 39

Nedskalning och överladdning



30 / 39

Turboladdning och momentkaraktäristik



31 / 39

Innehållsförteckning

Kursinformation

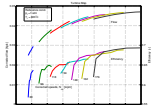
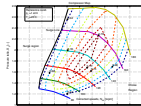
Motor – Repetition

Motor – MVEM forts. Temperaturer

Motor – Överladdning och nedskalning

Motor – Turbo prestanda och modellering

Kompressor- och turbinprestanda – Mapper



$$\text{Pressure ratio } \Pi_c = \frac{P_{02}}{P_{01}}$$

$$\text{Expansion ratio } \frac{1}{\Pi_t} = \frac{P_{04}}{P_{03}}$$

–Korrigerat massflöde och korrigerad hastighet

–Effektivitet

–Hur bestäms kompressor- och turbinprestanda?

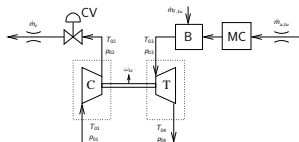
32 / 39

33 / 39

Kompressor- och turbinekvationer

På tavlan

Bestämning av kompressor- och turbinprestanda



C - Kompressor, T - Turbin, CV - reglerventil, B - brännare
MC - Mekanisk kompressor

34 / 39

35 / 39

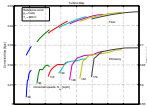
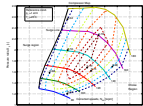
Kompressor och Turbin – Modeller

Grundläggande princip – Generaliserade restriktioner i MVEM

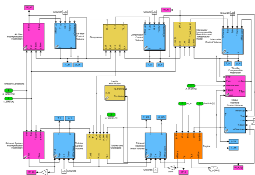
$$\dot{m} = f_1(\Pi, \omega_{tc})$$

$$\eta = f_2(\Pi, \omega_{tc})$$

$$\dot{W} = f_3(\Pi, \omega_{tc}, T_{in})$$



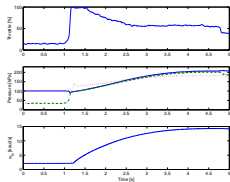
En MVEM för en Turbomotor



36 / 39

37 / 39

Stegsvar för turbomotor - Turbo lag



Innehållsförteckning

Kursinformation

Motor – Repetition

Motor – MVEM forts. Temperaturer

Motor – Överladdning och nedskalning

Motor – Turbo prestanda och modellering