

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

Motor – MVEM och Turbo

Lars Eriksson - Kursansvarig

Fordonssystem, Institutionen för Systemteknik
Linköpings universitet
lazer@isy.ltu.se

October 30, 2016

Innehållsförteckning

Kursinformation

Motor – Repetition

Motor – MVEM forts.

Motor – Överladdning och nedskalning

Motor – Turbo prestanda och modellering

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)

Innehållsförteckning

Kursinformation

Motor – Repetition

Motor – MVEM forts.

Motor – Överladdning och nedskalning

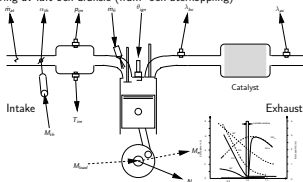
Motor – Turbo prestanda och modellering

Motor – Repetition

Medelvärdesmodellering

Inomcykelmodeller: pV-diagram, Momentmodellen

Reglering av luft och bränsle (fram- och återkoppling)



Innehållsförteckning

Kursinformation

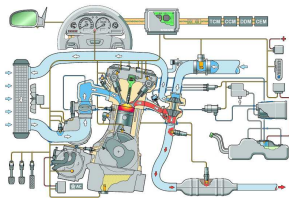
Motor – Repetition

Motor – MVEM forts.

Motor – Överladdning och nedskalning

Motor – Turbo prestanda och modellering

Mer om medelvärdesmodellering av motorer



Generell modellingsstrategi

Repetition – viktiga storheter

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

Metodik = Söndra och härska

Kontrollvolym – Restriktion – Kontrollvolym – Restriktion – ...

- ▶ Volymerna i rör – Kontrollvolym

Mass- & energi-bevarande

$$\text{Differkvationer: } \frac{d\dot{m}}{dt} = \dot{m}_{in}(\cdot) - \dot{m}_{out}(\cdot) \Rightarrow \frac{dp}{dt} = \dots$$

- ▶ Komponenter som styr flödet – Restriktioner eller pumpar
Mass- & energi-transport

$$\text{Statiska ekvationer: } \dot{m}_{in}(\cdot) = f(\Delta p, \dots)$$

Modeller för massflöden

Olika modeller beroende på flödeskaraktäristik.

- ▶ Är flödet turbulent eller laminärt?

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

$Re > 5000$ 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

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 konstant och $\frac{R T_{us}}{\rho_{us}}$ beskriver inloppsdensiteten.

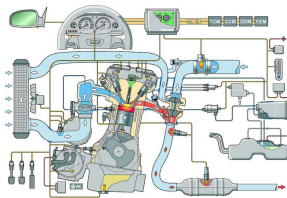
- ▶ Turbulent flöde

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

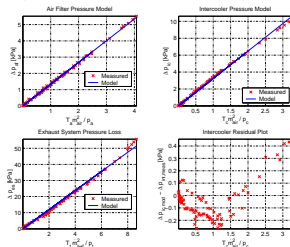
$$\dot{m} = C_3 \sqrt{\frac{\rho_{us} \Delta p}{R T_{us}}}$$

- ▶ Båda innehåller densitetens "korrektions" $\rho_{us} = \frac{R T_{atm}}{P_{atm}}$

Inkompr. – Intercooler, luftfilter och avgssystem



Validering – Intercooler, luftfilter och avgssystem

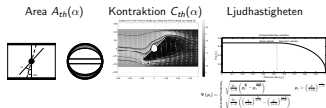


Kompressibelt flöde

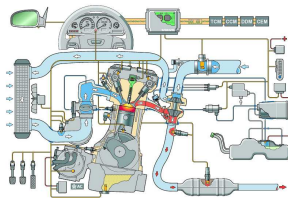
Kompressibel isentropisk strömning genom en strypning

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

Ett exempel: Trotteln



Kompressibelt flöde – Trottell och andra styrventiler



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

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

Temperaturmodeller – Avgastemperatur

Modelleringsprinciper

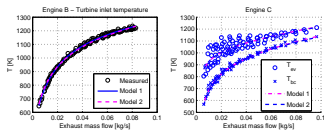
- ▶ Överbliven energi från den termodynamiska cykeln.
- ▶ Värmeöverföring från avgasrör, turbin och katalysator till omgivningen.

Ömfattande material i boken

- ▶ Huvudbudskap:
–Det finns modeller!

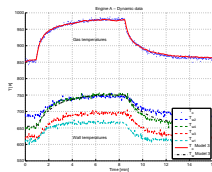
Avgastemperatur – Statisk modell – Validering

Temperaturen – starkt massflödesberoende



Avgastemperatur – Dynamisk modell – Validering

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



Innehållsförteckning

Kursinformation

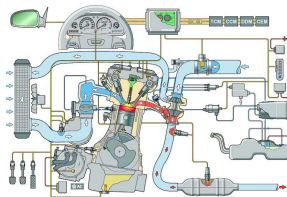
Motor – Repetition

Motor – MVEM forts.

Motor – Överladdning och nedskalning

Motor – Turbo prestanda och modellering

Grundläggande om turbo



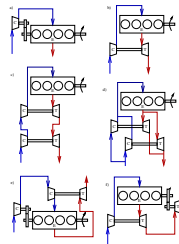
Överladdning – Supercharging

Definition – Från kompendiet

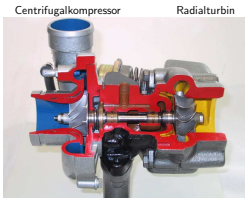
“Supercharging is the collected name for several methods that increase the intake air density, i.e. methods that charges extra air to the cylinder, and one particular method is called turbocharging.”

Metoder för överladdning

- Mekanisk överladdning
- Turboladdning
- Tvästegs turbo, seriell
- Tvästegs turbo, parallell
- Motordriven kompressor
- Turboladdning med turbocompound



Ett turboaggregat

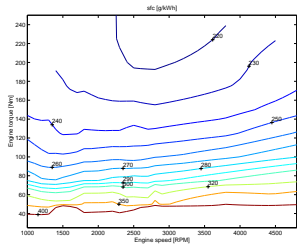


Nedskalning och överladdning

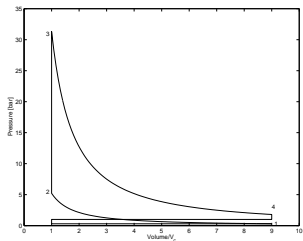
Betrakta ett fordon som kan utrustas med två olika motorer.

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

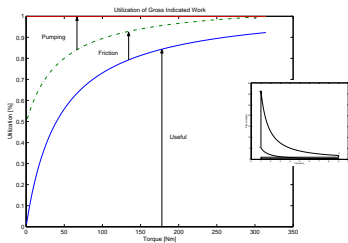
Nedskalning – Deltastförluster



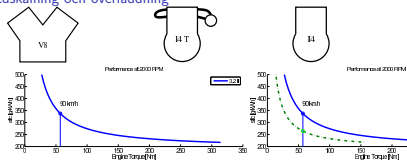
Hur utnyttjas bruttoarbetet?



Hur utnyttjas bruttoarbetet (i en 3.2 liters motor)?

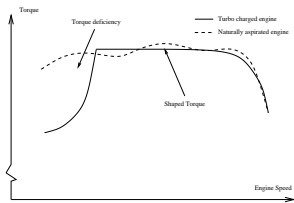


Nedskalning och överladdning



- ▶ Bränsleförbrukning som funktion av last.
- ▶ Mindre motor, 1.6 liter, är mer effektiv ...
 - ▶ ... men mindre roligt att köra.
- ▶ Turboladdning av 1.6 liters motorn.
 - ▶ förbättrad bränsleförbrukning utan förlorad accelerationsprestanda.
 - ▶ turbofördröjning, och liten effektivitetsförlust.

Turboladdning och momentkaraktäristik



Innehållsförteckning

Kursinformation

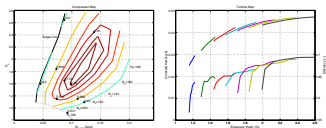
Motor – Repetition

Motor – MVEM forts.

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

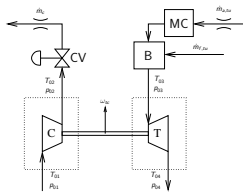
–Effektivitet

–Hur bestäms kompressor- och turbinprestanda?

Kompressor- och turbinekvationer

På tavlan

Bestämning av kompressor- och turbinprestanda



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

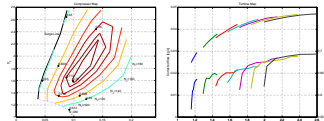
Kompressor och Turbin – Modeller

Grundläggande princip – Generaliserade restriktioner i MVEM

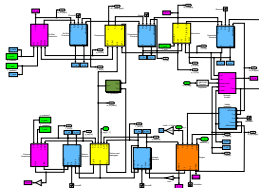
$$\dot{m} = f_1(\Pi, \omega_{tc})$$

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

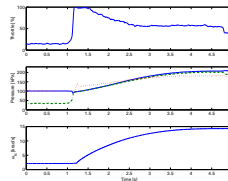
$$W = f_3(\Pi, \omega_{tc}, T_{in})$$



En MVEM för en Turbomotor



Stegsvar för turbomotor - Turbo lag



Innehållsförteckning

Kursinformation

Motor – Repetition

Motor – MVEM forts.

Motor – Överladdning och nedskalning

Motor – Turbo prestanda och modellering