

Inbjudan till föreläsning av Per Gillbrand

Turbo-Pelle

Torsdagen 11 oktober, 14.15 - ca 17

Pensionerad teknisk chef för SAAB Motorutveckling.

–En legend.

–Livslång erfarenhet av motorutveckling.

–Imponerade motorpark av fungerande miniatyrmotorer.

Samarrangemang med Akademiska Hus som bjuder på fika i rasten.

Lars Eriksson

1

September 2007

Fordonssystem

Fö 10: Drivlina – Repetition

Drivlina – Modellering

Stelkroppsmodellen

–Tillståndsval: $\dot{\theta}_w$

–Användningsområden: Kopplar motor till väglast

Drivlina med en elasticitet och två massor

–Tillståndsval: $\dot{\theta}_w$, $\dot{\theta}_m$ och $\frac{\theta_m}{s} - \theta_w$

–Användningsområden: Hastighets- och momentreglering.

Lars Eriksson

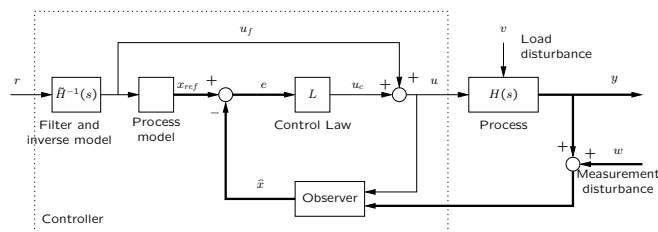
3

September 2007

Fordonssystem

Fö 10: Drivlina – Repetition

Model-Based Control



Lars Eriksson

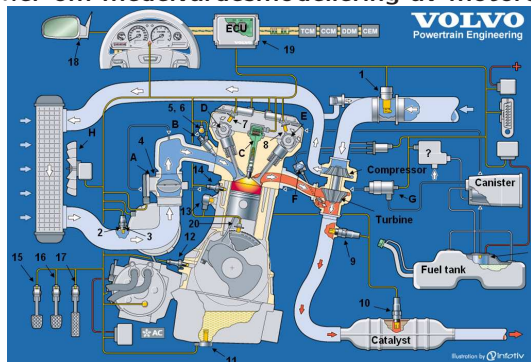
5

September 2007

Fordonssystem

Fö 10: Motor – MVEM forts.

Mer om medelvärdesmodellering av motorer

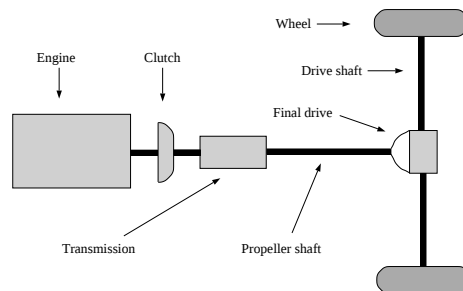


Lars Eriksson

7

September 2007

Drivlina



Lars Eriksson

2

September 2007

Fordonssystem

Fö 10: Drivlina – Repetition

Drivlina – Reglering

Överföringsfunktion och analys mha rotort illustrerar principerna

Hastighetsreglering

–Motorvarvtal

–Hjulvarvtal

Momentreglering

–Växlingsreglering

Lars Eriksson

4

September 2007

Fordonssystem

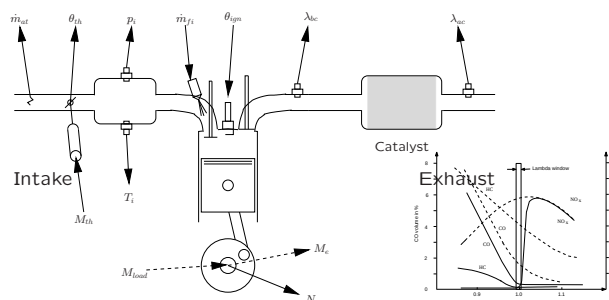
Fö 10: Motor – Repetition

Motor – Repetition

Medelvärdesmodellering

Inomcykelmodeller: pV-diagram, Momentmodellen

Reglering av luft och bränsle (fram- och återkoppling)



Lars Eriksson

6

September 2007

Fordonssystem

Fö 10: Motor – MVEM forts.

Generell modelleringsstrategi

Repetition – viktiga storheter:

Tryck p , Massflöde $\dot{m}$, (Temperatur T)

Strategi:

Kontrollvolym – Restriktion – Kontrollvolym – Restriktion – ...

Volymerna i rör – Kontrollvolym

Komponenter som styr flödet – Restriktioner eller pumpar

Lars Eriksson

8

September 2007

Modeller för massflödet

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

Repetition – Luftflödesmodell för trotteln

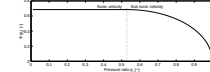
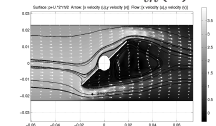
Kompressibel isentropisk strömning genom en strypning.

$$\dot{m}_{at} = \frac{p_a}{\sqrt{RT_a}} \cdot A_{th}(\alpha) \cdot C_{th}(\alpha) \cdot \Psi(p_r)$$

Area $A_{th}(\alpha)$

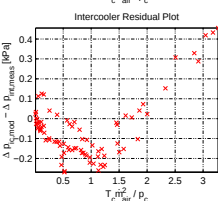
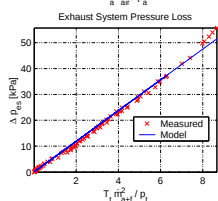
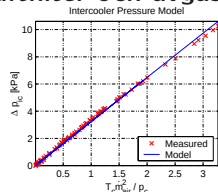
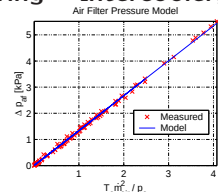
Kontraktion $C_{th}(\alpha)$

Ljudhastigheten



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

Validering – Intercooler, luftfilter och avgassystem



Avgastemperatur

Det finns modeller!

Överbliven energi från den termodynamiskacykeln.

Värmeöverföring från avgasrör, turbin och katalysator till omgivningen.

Incompressible flow models

- Laminar flow

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

where C_{lam} is a tuning constant and $\frac{R T_{us}}{p_{us}}$ accounts for the inlet density.

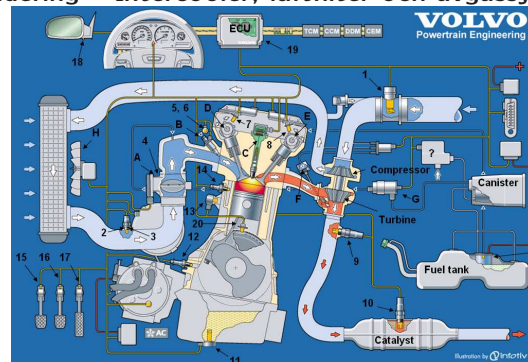
- Turbulent flow

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

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

- Both include density "correction" $\frac{R T_{us}}{p_{us}}$

Validering – Intercooler, luftfilter och avgassystem



Intercooler

Flödesrestriktionsmodell enligt ovan

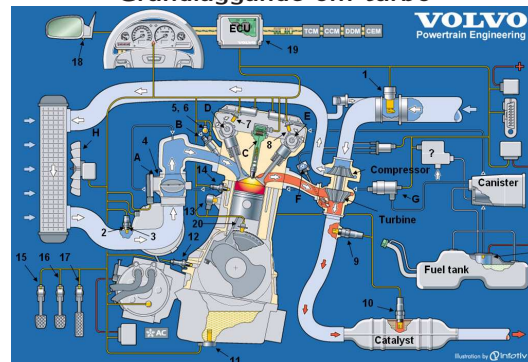
Temperaturmodell baserad på effektivitet

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

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

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

Grundläggande om turbo



Överladdning – Supercharging

Från kompendiet:

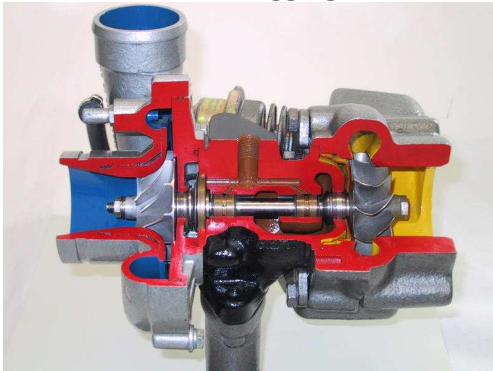
"Supercharging is the collected name for several methods that increase the intake air density, i.e. methods that charges extra air to the cylinder, and one particular method is called turbocharging."

Lars Eriksson

17

September 2007

Ett turboaggregat



Centrifugalkompressor

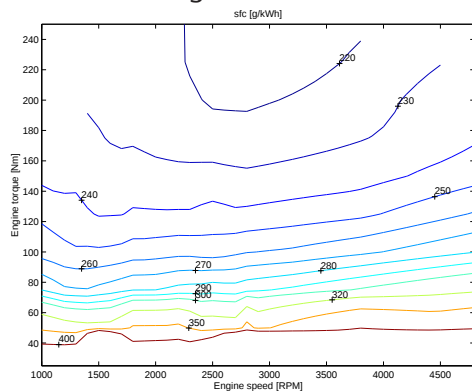
Radialturbin

Lars Eriksson

19

September 2007

Nedskaling – Dellastförluster

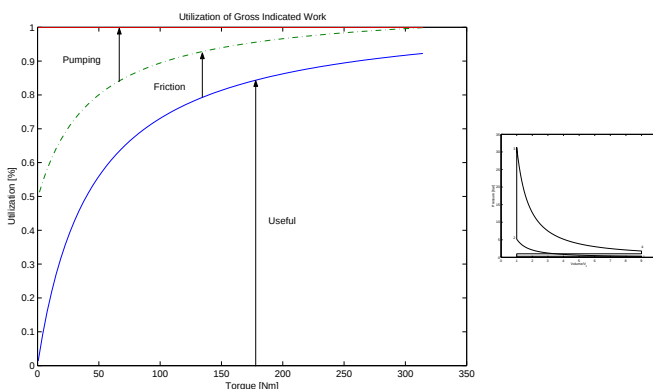


Lars Eriksson

21

September 2007

Hur utnyttjas bruttoarbetet? (i en 3.2 liters motor)?



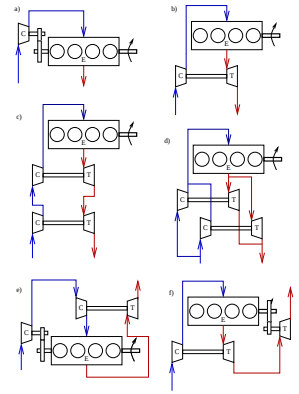
Lars Eriksson

23

September 2007

Metoder för överladdning

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



Lars Eriksson

18

September 2007

Nedskaling och överladdning

Betrakta ett fordon som kan utrustas med två olika motorer.

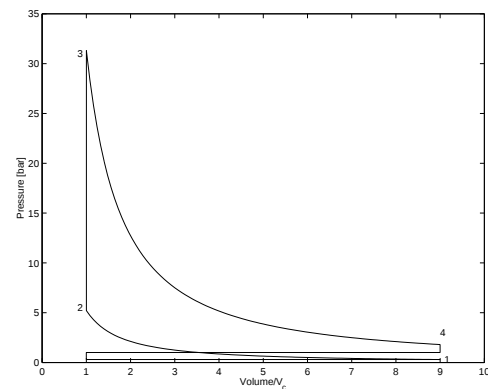
- Varför ger en stor motor högre bränsleförbrukning än en liten?
- Svaret ligger i att motorn alltid körs på dellast.

Lars Eriksson

20

September 2007

Hur utnyttjas bruttoarbetet?



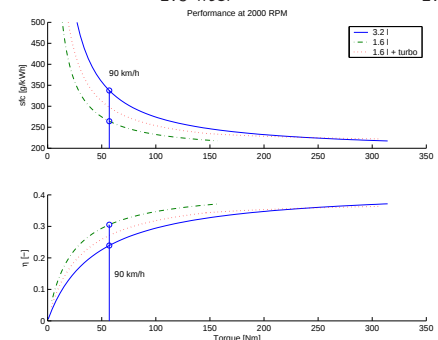
Lars Eriksson

22

September 2007

Nedskaling och överladdning

3.2 liter 1.6 liter 1.6 liter turbo

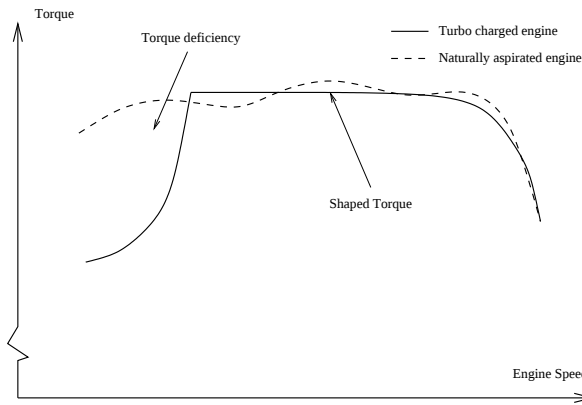


Lars Eriksson

24

September 2007

Turboladdning och momentkaraktäristik



Lars Eriksson

25

September 2007

Kompressor- och turbinekvationer

Lars Eriksson

27

September 2007

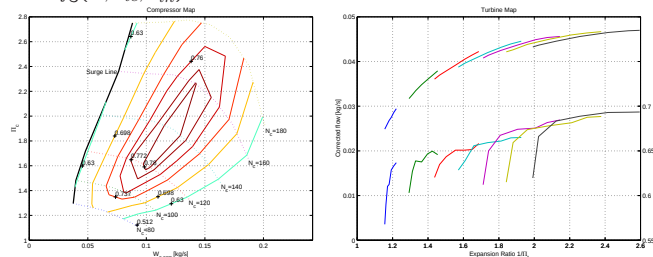
Kompressor och Turbin – Modeller

Grundläggande princip – Generaliserade restriktioner i MVEM

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

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

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



Lars Eriksson

29

September 2007

Stegsvar för turbomotor - Turbo lag

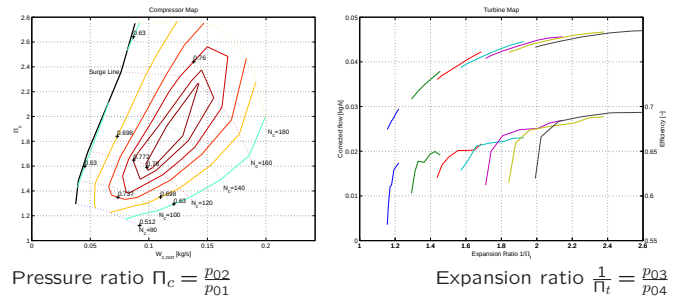
Ett stegsvar

Lars Eriksson

31

September 2007

Kompressor- och turbinprestanda – Mapper



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

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

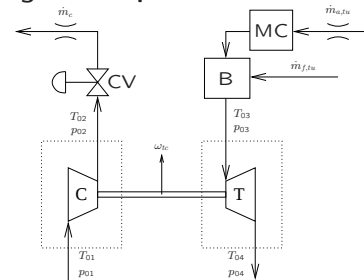
- Korrigerat massflöde och korrigerad hastighet
- Effektivitet
- Hur bestäms kompressor- och turbinprestanda?

Lars Eriksson

26

September 2007

Bestämning av kompressor- och turbinprestanda

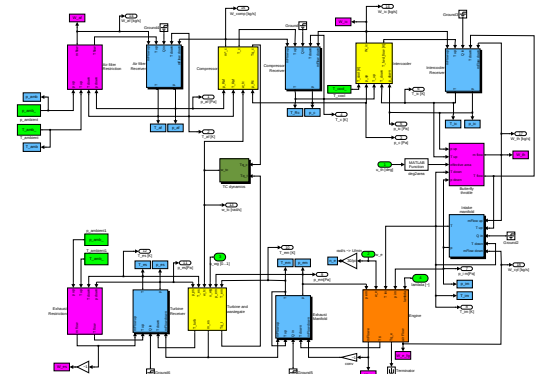


Lars Eriksson

28

September 2007

En MVEM för en Turbomotor

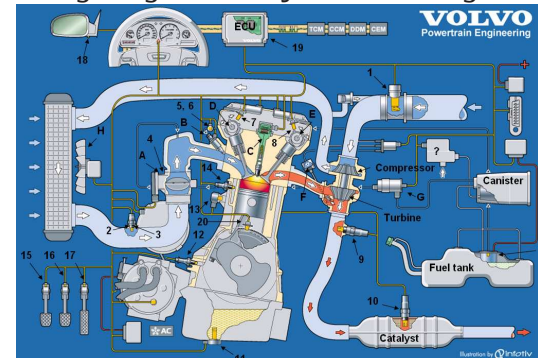


Lars Eriksson

30

September 2007

Reglering av laddtrycket – Wastegate



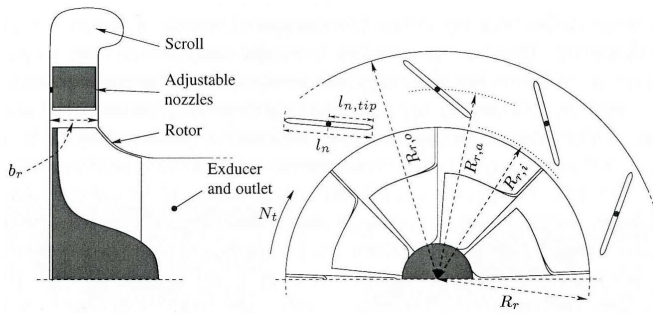
Lars Eriksson

32

September 2007

Reglering av laddtrycket – VGT

Variable Geometry Turbine – VGT (bara dieselmotorer idag)

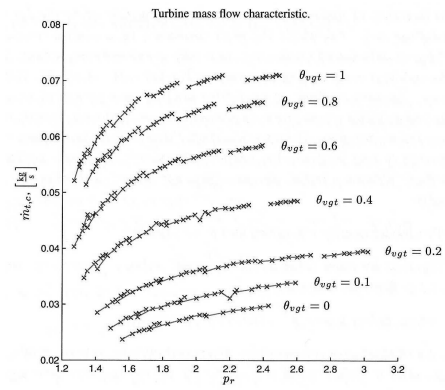


Lars Eriksson

33

September 2007

Arean ändras med styrsignalen



Lars Eriksson

34

September 2007