

# TSFS09 – Modellering och Reglering av Motorer och Drivlinor – Fö 14

Repetitionsföreläsning, Avslutning

Lars Eriksson - Kursansvarig

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

December 14, 2016

## Innehållsförteckning

Introduktion

Motor

Drivlina

Diagnos och avslutning

## Modellering och Reglering av Motorer och Drivlinor

Fordon är idag datoriserad maskiner.

- ▶ Nya mekanisk lösningar. Dessa möjliggörs av och förlitar sig på existensen av moderna reglersystem.
- ▶ Nya metoder för signaltolkning.
- ▶ Tillgänglighet till beräknings- och nätverksteknik öppnar helt nya möjligheter.

Fordonsdesign utvecklas därför till **samdesign** av mekanik- och reglersystem.

## Modellering och Reglering av Motorer och Drivlinor

Uppgifterna för sådana förbättrade lösningar är många men huvudmålen är att sträva efter:

- ▶ Effektivitet, vilket ger sänkt bränsleförbrukning.
- ▶ Emissionerna måste vara låga för att skydda miljön.
- ▶ Körbarhet är viktigt för kunden.
- ▶ Säkerhet är också en nyckelfråga.

**Kursens mål är att**

ge en förståelse för *dagens fordonssystem* och grunden för att *utveckla framtidens fordonssystem*, och dessutom att gå tillräckligt djupt för att se samspelet mellan den grundläggande fysiken i fordonssystemen och möjligheterna för reglering.

# Innehållsförteckning

## Introduktion

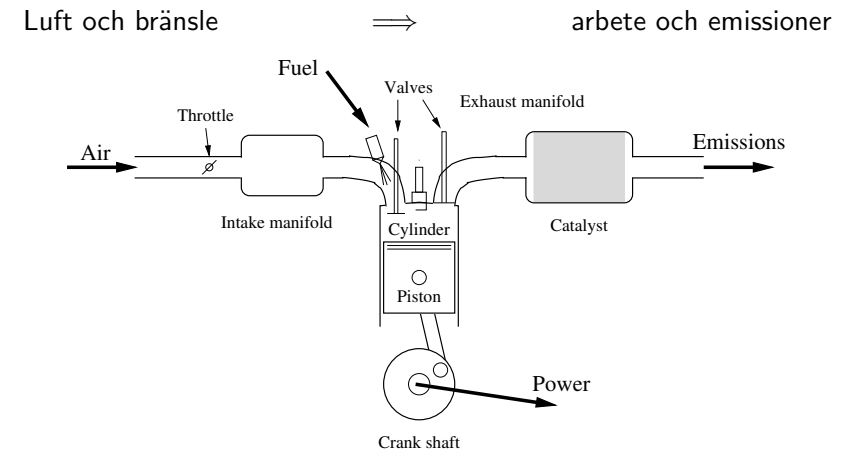
### Motor

- Grunder
- Motormodellering
- Motorreglering
- Turbo
- Diesel och avancerade koncept

## Drivlina

## Diagnos och avslutning

# Motor

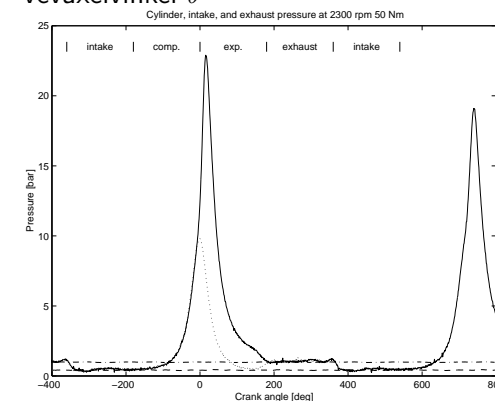


# Motor – Begrepp

- ▶ Bromsat (moment, effekt, MEP, ... )
- ▶ Indikerat (moment, effekt, MEP, ... ), brutto och netto (gross or net)
- ▶ Formel för  $V = V(\theta)$
- ▶ Fyllnadsgrad (volumetric efficiency)
- ▶ Fyrtaktscykeln - händelser
- ▶ Förbränningsstökiometri, luftbränsleförhållande:  $(A/F)$ ,  $(A/F)_s$ ,  $\lambda$ ,  $\phi$

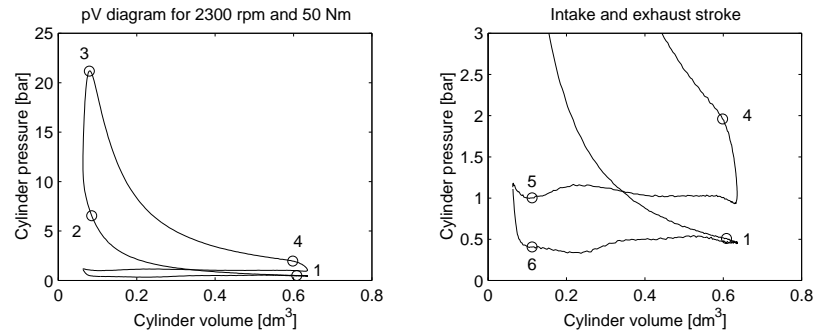
# Motor

Uppmätt indikatordiagram – Cylindertryck som funktion av vevaxelvinkel  $\theta$

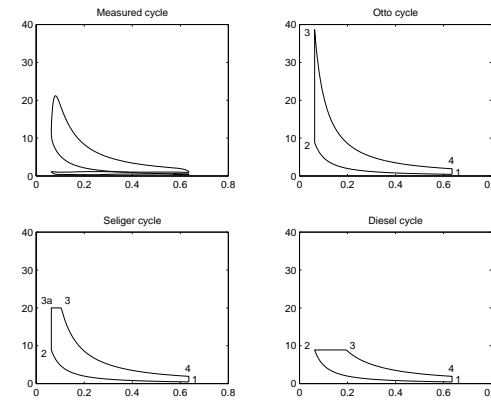


Hur skall vi analysera detta?

Samma indikatordiagram omräknat till pV-diagram



Termodynamiska cykler som modell av uppmätt indikatordiagram



Motor - Principer

Otto:

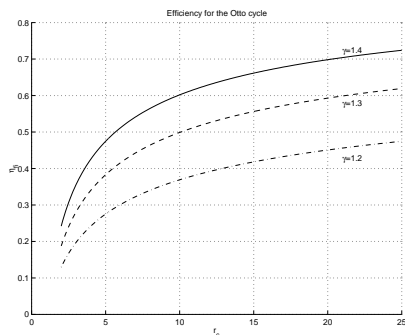
$$\eta_{f,i} = 1 - \frac{1}{r_c^{\gamma-1}}$$

Diesel:

$$\eta_{f,i} = 1 - \frac{1}{r_c^{\gamma-1}} \frac{\beta^\gamma - 1}{(\beta - 1)\gamma}$$

Seiliger:

$$\eta_{f,i} = 1 - \frac{1}{r_c^{\gamma-1}} \frac{\alpha\beta^\gamma - 1}{\alpha(\beta - 1)\gamma + \alpha - 1}$$



Momentmodellen  $M_e 4 \pi = W_e = W_{ig} - W_{pump} - W_{fric}$

- ▶ Utgår från tillgänglig energi

$$W_{ig} = m_f q_{HV} \tilde{\eta}_{ig}(\lambda_c, \theta_{ign}, r_c, \omega_e, V_d)$$

- ▶ Dra bort ideal Ottocykel samt verkliga förluster

$$\tilde{\eta}_{ig}(\lambda_c, \theta_{ign}, r_c, \omega_e, V_d) = \left(1 - \frac{1}{r_c^{\gamma-1}}\right) \cdot \eta_{ig, ch}(\omega_e, V_d) \cdot \min(1, \lambda_c) \cdot \eta_{ign}(\theta_{ign})$$

- ▶ Optimal tändtidpunkt beror på ... , momentkurvan på ...

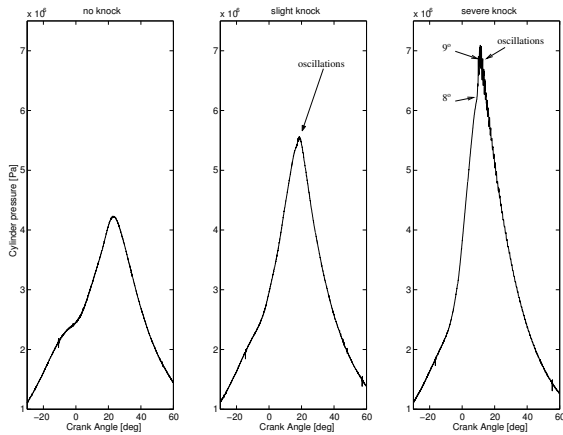
$$\eta_{ign}(\theta_{ign}) = 1 - C_{ign} \cdot (\theta_{ign} - \theta_{ign, opt}(\omega_e, m_f, \lambda, \dots))^2$$

- ▶ Pump- och friktionsförluster

$$W_{pump} = V_d (p_e - p_i) \quad W_{fric} = V_d \cdot \text{FMEP}(N)$$

# Motor - Principer

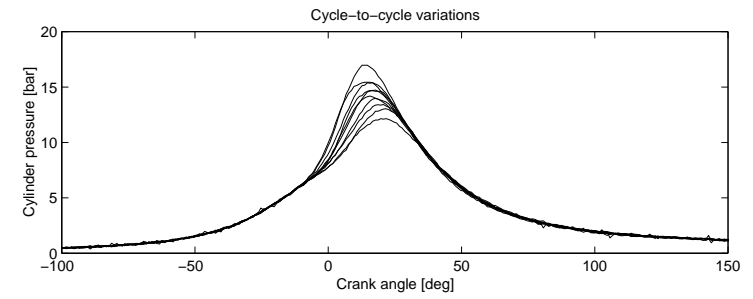
## Knack



Oktantal – Bränslets motståndsförmåga mot knock

# Cykel-till-cykel-variationer

Tio cykler (stationäritet)



Snabbaste cykeln – Störst sannolikhet för knock.

# Innehållsförteckning

Introduktion

Motor

Grunder

Motormodellering

Motorreglering

Turbo

Diesel och avancerade koncept

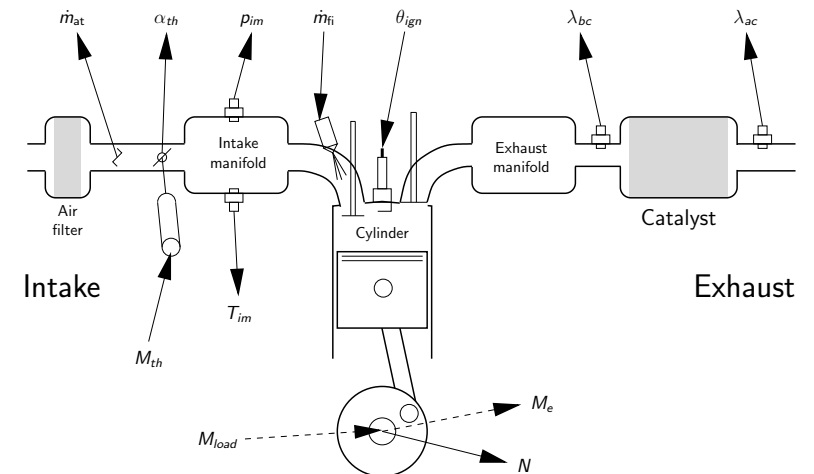
Drivlina

Diagnos och avslutning

# Motor - Modellering

Ett sensor - aktuator perspektiv:

Samband mellan sensorer och aktuatorer, MVEM.



## Motor - Modellering

Luftflöde förbi gasspjäll (trottel)

$$\dot{m}_{at}(\alpha, p_a, p_i, T_a) = \frac{p_a}{\sqrt{RT_a}} A_{th}(\alpha) C_{th}(\alpha) \Psi\left(\frac{p_i}{p_a}\right) \quad (1)$$

Luftflöde in i cylindern

$$\dot{m}_{ac}(N, p_i, T_i) = \eta_{vol}(N, p_i) \frac{V_d N p_i}{2 R T_i} \quad (2)$$

Tryckkuppbyggnad i insuget

$$\frac{dp_i}{dt} = \frac{RT_i}{V_i} (\dot{m}_{at}(\alpha, p_a, p_i, T_a) - \dot{m}_{ac}(N, p_i, T_i)) \quad (3)$$

## Motor - Modellering

$\lambda$  i cylindern

$$\lambda = \frac{\dot{m}_{ac}}{\dot{m}_{fc}} \frac{1}{(A/F)_s} \quad (7)$$

$\lambda$  vid sensorn

$$\frac{d}{dt} \lambda_s(t) = \frac{1}{\tau_\lambda} (\lambda(t - \tau_d(n)) - \lambda_s(t)) \quad (8)$$

$\lambda$ -mätning (diskret sensor)

$$\lambda_{disc} = \begin{cases} 1 & \text{if } \lambda_s < 1 \\ 0.5 & \text{if } \lambda_s = 1 \\ 0 & \text{if } \lambda_s > 1 \end{cases}$$

## Motor - Modellering

Insprutad bränslemängd – flöde

$$\dot{m}_{fi} = \frac{N n_{cyl}}{n_r} m_{fi} = N c (t_{inj} - t_0(u_{batt})) \quad (4)$$

Bränslefilmsdynamik

$$\frac{dm_{fp}}{dt} = X \dot{m}_{fi} - \frac{1}{\tau_{fp}} m_{fp} \quad (5)$$

$$\dot{m}_{fc} = (1 - X) \dot{m}_{fi} + \frac{1}{\tau_{fp}} m_{fp} \quad (6)$$

## Motor - Modellering

Vevaxeldynamik

$$J \frac{d\omega_e}{dt} = M_e(p_i, N, \lambda, \theta_{ig}) - M_{fric}(N, p_i) - M_{load}$$

$$\frac{dN}{dt} = C \cdot (M_e(p_i, N, \lambda) - M_{load}) \quad (9)$$

$M_{load} = M_{load}(N, i_g, \dots)$  – från drivlinan (koppling, växellåda, fordon, etc).

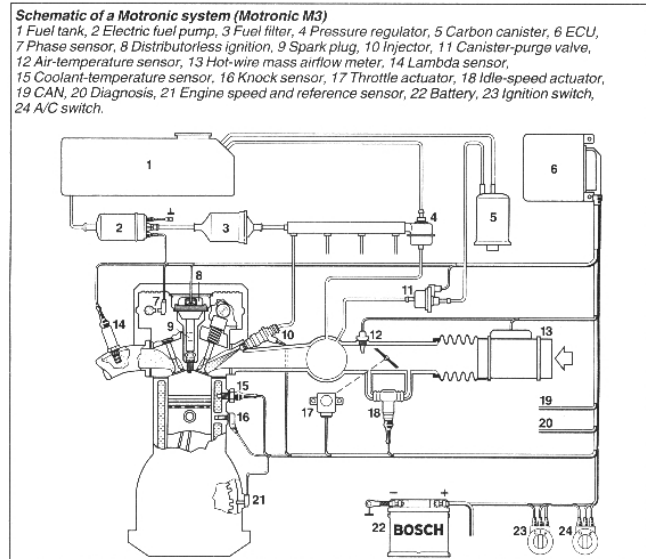
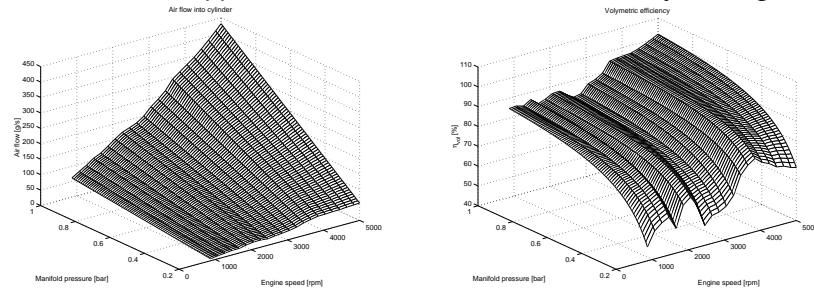
# Motor - Modellering

Motormappar beskriver parametrarna i ekvationerna.

Luftmassa in i cylindern (Air mass flow),  $\dot{m}_{ac}(N, p_i)$

Fyllnadsgrad (volumetric efficiency),  $\eta_{vol}(N, p_i)$

**OBS!** Motormappar används också för att beskriva styrstrategier.



# Innehållsförteckning

Introduktion

Motor

Grunder

Motormodellering

Motorreglering

Turbo

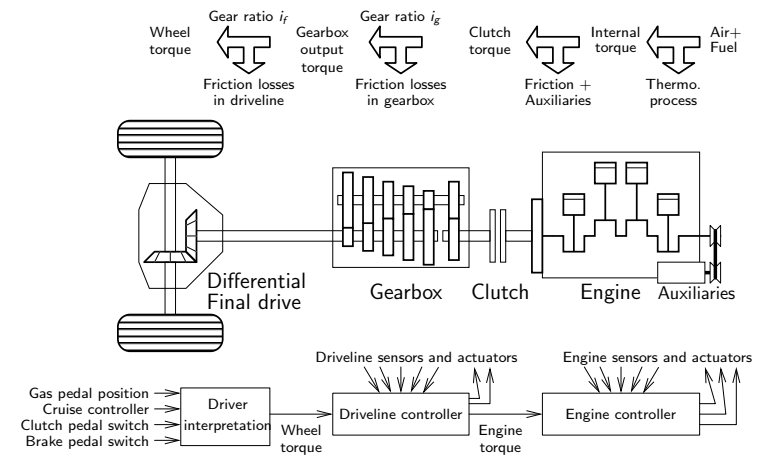
Diesel och avancerade koncept

Drivlina

Diagnos och avslutning

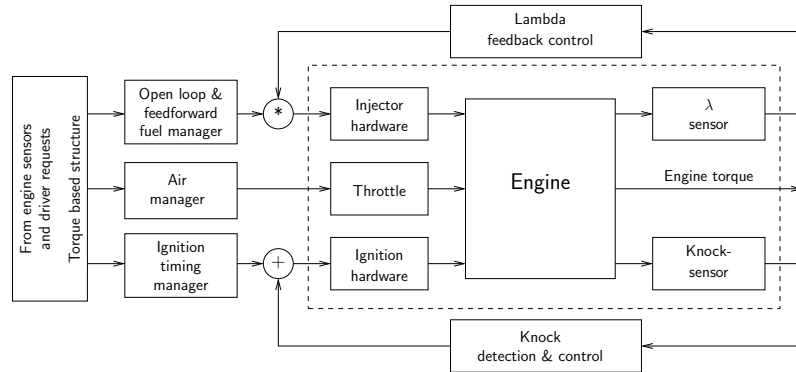
## Momentbaserad arkitektur

- ▶ Utgå från förarens begärda moment (moment vid hjulet)
- ▶ Följ det önskade momentet genom drivlinan till motorn
- ▶ Fördela verkställandet av momentet på motorns aktuatorer



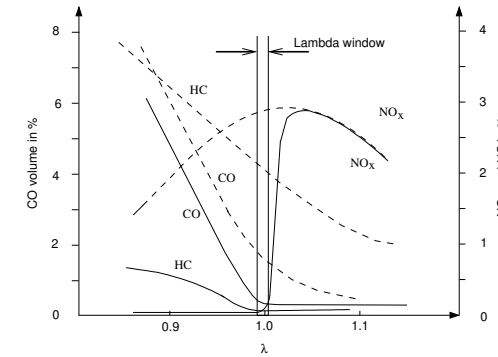
## De två huvudlooparna

Viktigaste reglerlooparna för bensinmotorer. Den översta är *lambda-regulatorn* och den nedersta är *tändningsregulatorn*.



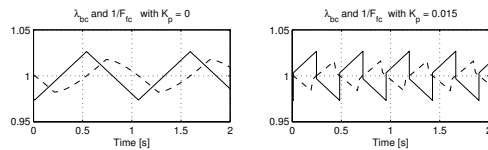
## Motor - Principer

- ▶ Avgasrening med trevägskatalysator - kräver  $\lambda$ -reglering
- ▶ Stationär och transient reglering med noggrannhetskrav på %
- ▶ Gasspjäll-bränsleinsprutnings-koordination



## Motor - Reglering

Limit-cycle i mängden insprutat bränsle (heldragen) och i  $\lambda_{bc}$  (streckad).

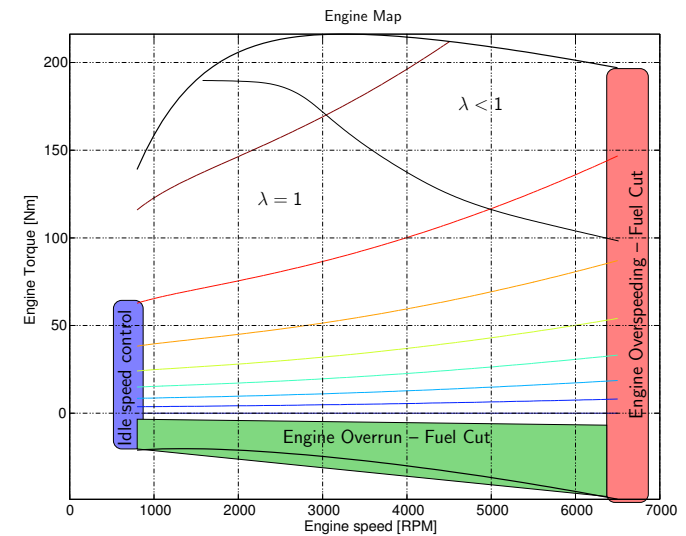


Återkoppling av  $\lambda_{bc}$ .

Analys: Grafisk, beskrivande funktion, eller Poincaré.

Designoptimering beror av katalysatoregenskaper.

## Reglermoder i styrsystemet – Modbyten



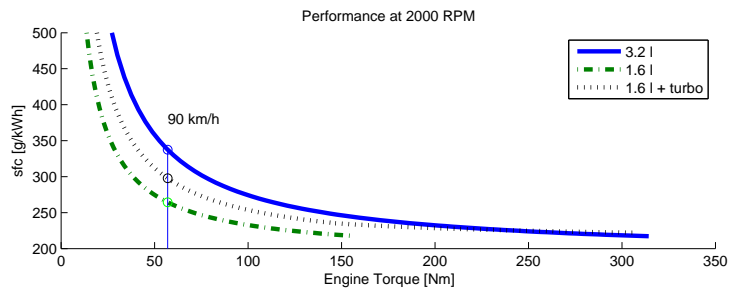
# Motor - Reglering

## Sammanfattningsvis viktigast (Bensin motorn)

- ▶ Luftmängd – Moment
- ▶ Bränsle-luft-reglering – Emissioner (och last)
- ▶ Tändningsreglering – Effektivitet eller bränsleförbrukning

# Nedskalning och överladdning

3.2 liter ↔ 1.6 liter ↔ 1.6 liter turbo



# Innehållsförteckning

Introduktion

Motor

Grunder

Motormodellering

Motorreglering

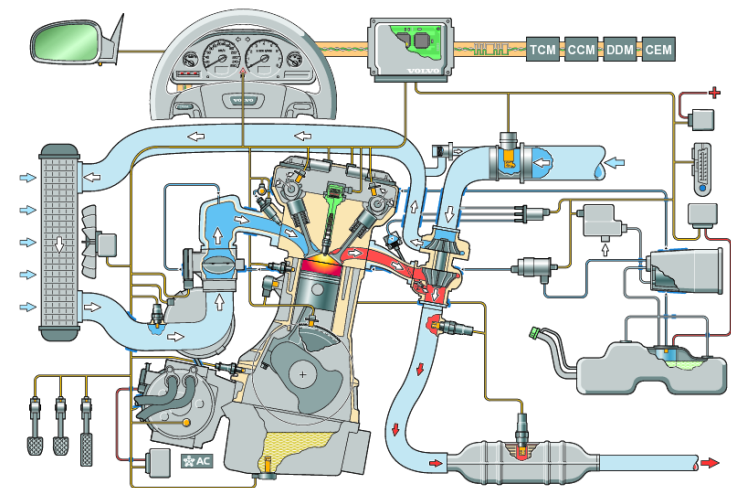
Turbo

Diesel och avancerade koncept

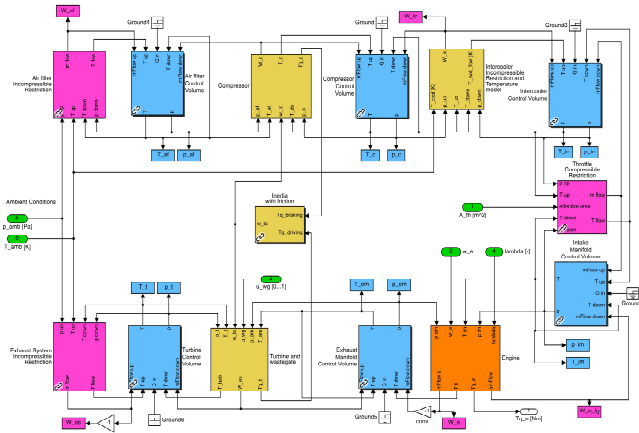
Drivlina

Diagnos och avslutning

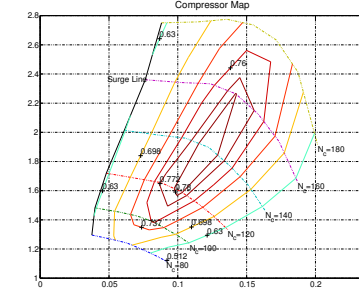
# Turbo – MVEM, Reglerloopar



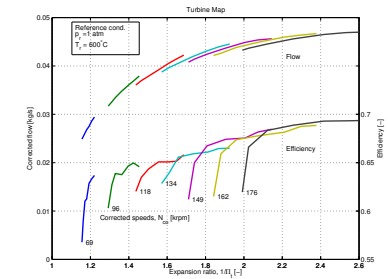




Turbomapp: Kompressormapp,



Turbinmapp.



## Grundekvationer för turbo

- Definitionerna av turbin- och kompressoreffektivitet
- Vid stationaritet – effektbalans

$$\dot{W}_c = \eta_m \dot{W}_t$$

$$\dot{W}_c = \dot{m}_c c_p (T_{02} - T_{01}) = \dot{m}_c c_p T_{01} \frac{1}{\eta_c} \left( \left( \frac{p_{02}}{p_{01}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)$$

$$\dot{W}_t = \dot{m}_t c_p T_{03} \eta_t \left( 1 - \left( \frac{p_{04}}{p_{03}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right)$$

- Vid samma laddtryck  
Sämre effektivitet – Högre mottryck på avgassidan (pumparbete)

## Innehållsförteckning

Introduktion

Motor

Grunder

Motormodellering

Motorreglering

Turbo

Diesel och avancerade koncept

Drivlina

Diagnos och avslutning

## Diesel- och bensinmotorer – De stora skillnaderna

	Bensin (Spark Ignited)	Diesel (Compression Ignited)
Bränsle	Bensin	Diesel
Luftintag	Trottel	Raka rör
Bränsleinsprutning	I insugningssystemet	Direkt i cylindern
Laständring	Luftflöde $p_i$	Bränslemängd $Q_i n$
Luft- & bränsleblandning	Homogen	Stratifierad
Förbränningsstart	Tändgnista	Självantänder
Förbrännigstyp	Förblandad	Diffussion
Emissioner	$CO$ , $HC$ och $NO_x$ 3-vägs-katalysator	$NO_x$ och partiklar partikelfälla de-nox-katalysator
$r_c$	8–12	12–24
$\lambda$	0.5–1.5	>1.1

## Innehållsförteckning

Introduktion

Motor

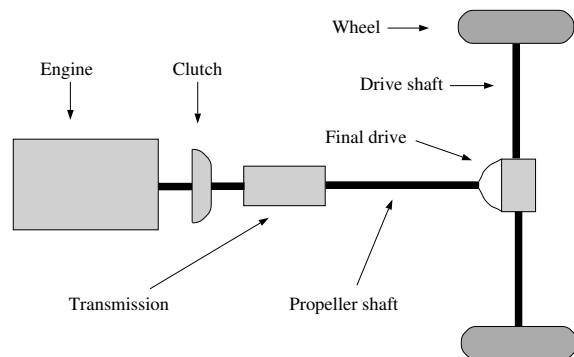
Drivlina

Modellering

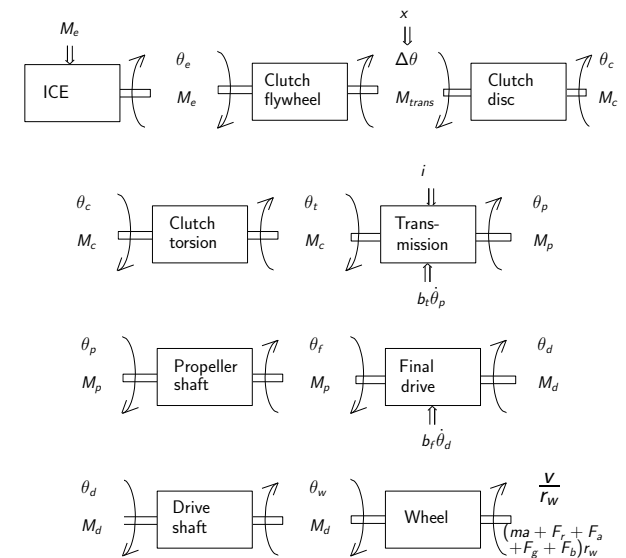
Reglering

Diagnos och avslutning

## Drivlina - Modellering



## Drivlina - Modellering



## Drivlina - Modellering

Enkelt exempel (stel drivlina)

Illustrerar följande viktiga idéer:

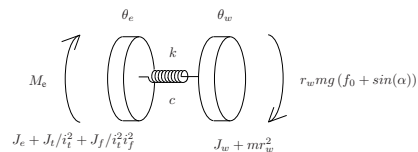
- ▶ friläggning av komponenter i drivlina
- ▶ systematik
- ▶ fordonets massa som effektivt tröghetsmoment
- ▶ spegling av tröghetsmoment med  $i^2$

## Drivlina - Modellering

Utvidgning av enkelt exempel – Torsionsmodellering

Illustrerar följande viktiga idéer:

- ▶ torsionsmodellering
- ▶ val av tillstånd



## Stel drivlina – Samverkan: motor och fordon

Stel drivlina

Effektkonsumtion

$$P_w = F_w(v) \cdot v$$

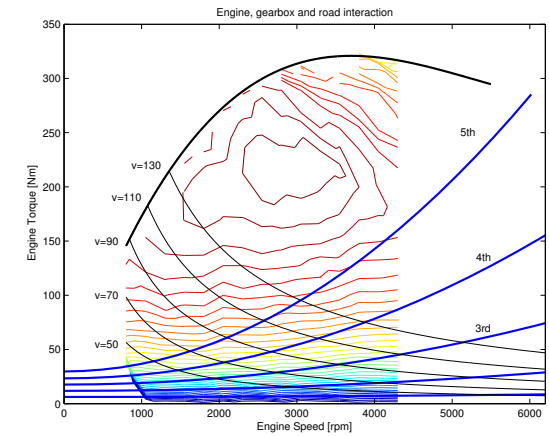
$$F_w(v) = f_0 + f_1 v^2$$

Effektproduktion

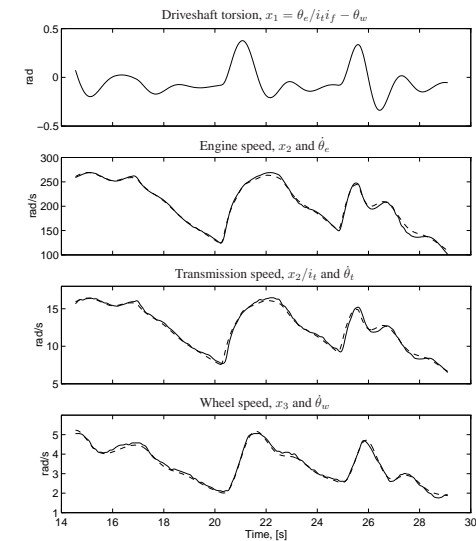
$$P_e = T_e \cdot \omega_e$$

Drivlineeffektivitet

$$P_e = \eta_t \cdot P_w$$



## Drivlina - Modellering



## Drivlina - Modellering

Är modellen perfekt?

Vilken är nu den svagaste länken, dvs den viktigaste omodellerade effekt som behövs för att förklara data.

- ▶ Kopplingsdynamik?
- ▶ Kardandynamik?
- ▶ Sensordynamik?
- ▶ Olinjäriteter?

## Drivlina - Reglering

Viktiga tillämpningar

- ▶ driveline speed control
- ▶ driveline control for gear shifting

## Innehållsförteckning

Introduktion

Motor

Drivlina

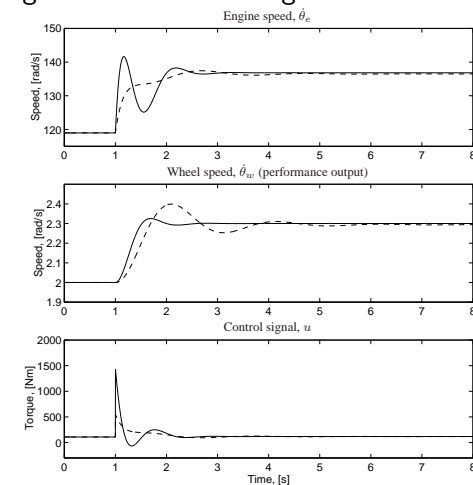
Modellering

Reglering

Diagnos och avslutning

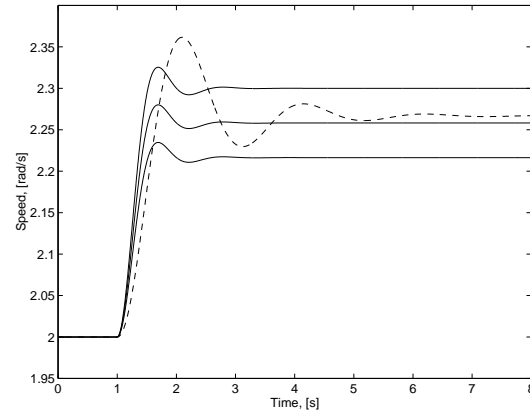
## Drivlina - Reglering

Aktiv dämpning – Jämförelse vid ungefär samma snabbhet.



## Drivlina - Reglering

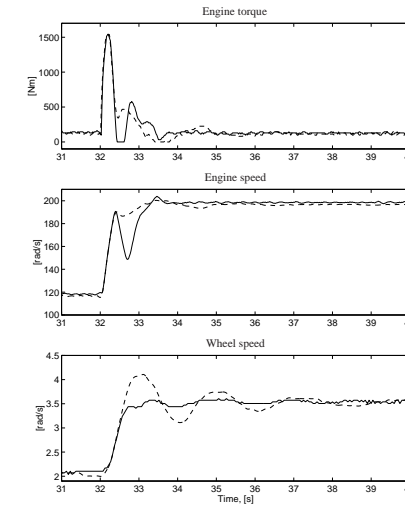
Man kan trimma stationära felet



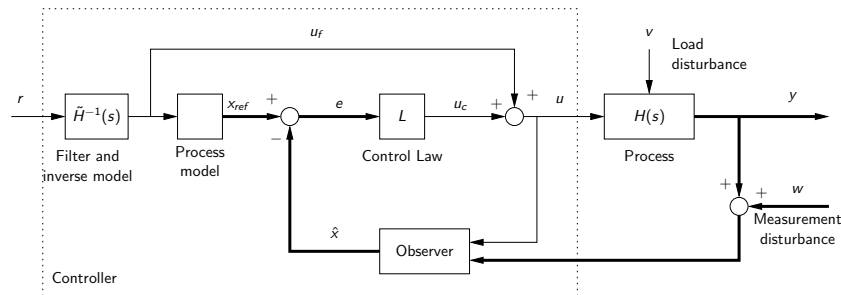
Stationära felet skiljt från noll kan vara intressant för körkänslan

## Drivlina - Reglering

Fältförsök



## Modellbaserad Reglering



### Modellbaserad reglering

- ▶ Linjär modell för observatörsdesign
- ▶ Linjär modell för återkopplingsförstärkning
- ▶ Detaljerad olinjär modell för verifiering

## Drivlina

Kommentar om kurskraven:

- ▶ Grundläggande modeller
- ▶ Räkningar på dessa
- ▶ Översikt

Se övningshäftet (desamma som gamla tentauppgifter):

- ▶ Problem
- ▶ Kunskapsfrågor

## Innehållsförteckning

Introduktion

Motor

Drivlina

Diagnos och avslutning

## Diagnos

- ▶ Lagkrav: Drivet av funktionskrav över fordonets hela livslängd.
- ▶ Lagkrav: OBD
- ▶ Lagkrav: OBD-II
- ▶ MIL-lampa, DTC, Freeze frame data, SCANTOOL
- ▶ Vad skall detekteras?
- ▶ Diagnosmetodik

## Tentamen

- ▶ 50 poäng  
Betyg 4 – 23 poäng  
Betyg 5 – 35 poäng
- ▶ Innehåll:  
20-30 poäng - uppgifter, nära vad som krävts i projektens förberedelser.  
5-15 poäng - uppgifter, anknytning till lektionerna.  
15- poäng - kunskapsuppgifter, från kompendiet och föreläsningar.
- ▶ Lektionskompendiet är en sammanställning av gamla tentauppgifter.

## Räkneuppgifter på Tentan

Modeller och räkningar på sådant som ingått i labbuppgifterna

- ▶ pV-diagram – räkna cykeln runt, arbete.
- ▶ Momentmodellen – delkomponenterna och tillämpningar.
- ▶ Fyllnadsgrad – luftmassflöde.
- ▶ Tryckupbyggnad i insugsröret – härledning.
- ▶ Turboekvationer – effekt och effektivitet.
- ▶ Drivlinemodellering – härleda en modell till tillståndsform och överföringsfunktion.