

# TSFS09 – Modellering och Reglering av Motorer och Drivlinor (MoDr)

Fö 5 – Lambda reglering, Emissioner, Bonus om Lambda

Lars Eriksson - Kursansvarig

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

September 17, 2025

# Innehållsförteckning

## 1 Repetition

- Modellvalidering
- Termodynamik
- Reglering – Reglermål

## 2 Fortsättning på reglering av $\lambda$

## 3 Bränslereglering

## 4 Emissioner

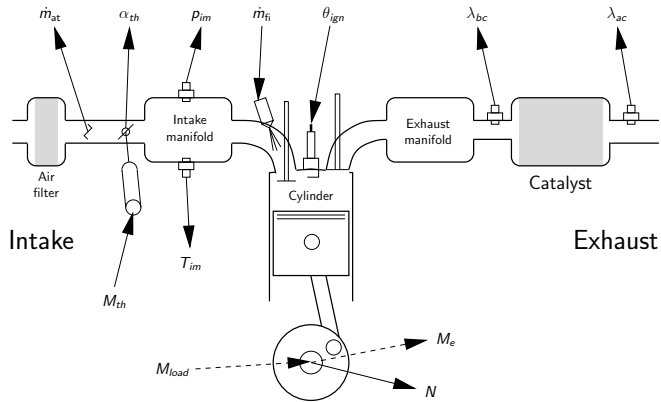
## 5 Mer om lambda regulatorn

## 6 Other Control Loops

# Luft och bränsle → Arbete och emissioner

## Medelvärdesmodellering

Samband mellan aktuator och sensorer samt sensorer inbördes.



# Modellsammanfattning 1(3)

Gaspedalstolkning och trottelposition

$$\alpha_{ref} = u_{pedal} \quad \text{där } u_{pedal} \in [0, 1]$$

$$\alpha = H_{\alpha}(s) \alpha_{ref}$$

Luftflöde in i insugsröret

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

Luftflöde in i cylindern

$$\dot{m}_{ac}(N, p_{im}, T_{im}) = \eta_{vol}(N, p_{im}) \frac{p_{im} V_d n_{cyl} N}{R T_{im} n_i}$$

Tryckuppbyggnad i insugsröret

$$\frac{dp_{im}}{dt} = \frac{R T_{im}}{V_{im}} \frac{dm_{im}}{dt} = \frac{R T_{im}}{V_{im}} (\dot{m}_{at} - \dot{m}_{ac})$$

## Modellsammanfattning 2(3)

Flöde genom katalysator och avgassystemet (inkompressibel turbulent)

$$\dot{m}_{cat} = C_3 \sqrt{\frac{p_{em} \Delta p}{R T_{em}}}, \quad \Delta p = p_{em} - p_{amb}$$

Gasflöde från motorn

$$\dot{m}_{cyl} = \dot{m}_{ac} + \dot{m}_{fc}$$

Tryckuppbyggnad i avgasröret

$$\frac{dp_{em}}{dt} = \frac{R T_{em}}{V_{em}} \frac{dm_{em}}{dt} = \frac{R T_{em}}{V_{em}} (\dot{m}_{cyl} - \dot{m}_{cat})$$

Avgastemperatur  $T_{em}$

### Tankesätt

- Titta på ekvationerna och fundera på alla variabler ni ser, vad är de för typ?
- Hur skall man få värden på alla variabler. Signaler/parametrar/konstanter?

## Modellsammanfattning 3(3)

Bränsleinjektor - Port inspr.

$$\dot{m}_{fi} = C_1 N(t_{inj} - t_0(u_{batt}))$$

Bränslefilm

$$\begin{aligned}\frac{dm_{fp}}{dt} &= X \dot{m}_{fi} - \frac{1}{\tau_{fp}} m_{fp} \\ \dot{m}_{fc} &= (1 - X) \dot{m}_{fi} + \frac{1}{\tau_{fp}} m_{fp}\end{aligned}$$

Bränsleinjektor - Direkt inspr.

$$\dot{m}_{fc} = C_1 N(t_{inj} - t_0(u_{batt}))$$

$\lambda$  till motor

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

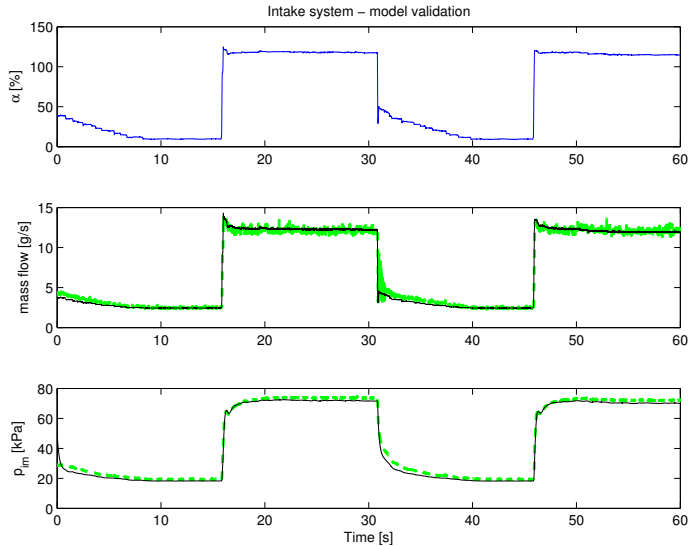
Gasblandning & Transportfördröjning

$$\frac{d}{dt} \lambda_{exh}(t) = \frac{1}{\tau_{mix}} (\lambda(t - \tau_d(N)) - \lambda_{exh}(t))$$

Sensordynamik

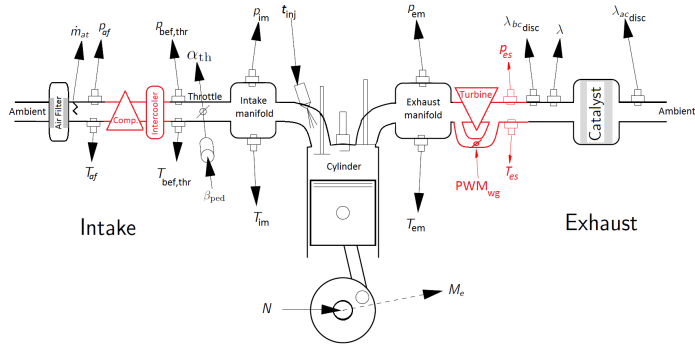
$$\frac{d}{dt} \lambda_s(t) = \frac{1}{\tau_\lambda} (\lambda_{exh}(t) - \lambda_s(t))$$

# Insugsrör – Modellvalidering

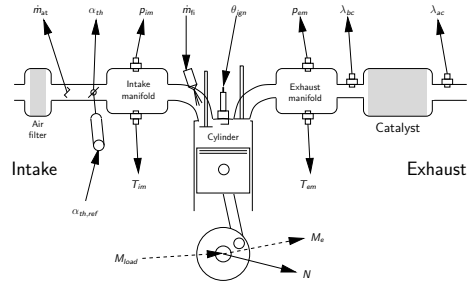


# Modellering och beräkningar av modellparametrar

Mätningar på turbomotor i motorlabbet.



Motorn som modelleras i Projekt 1.



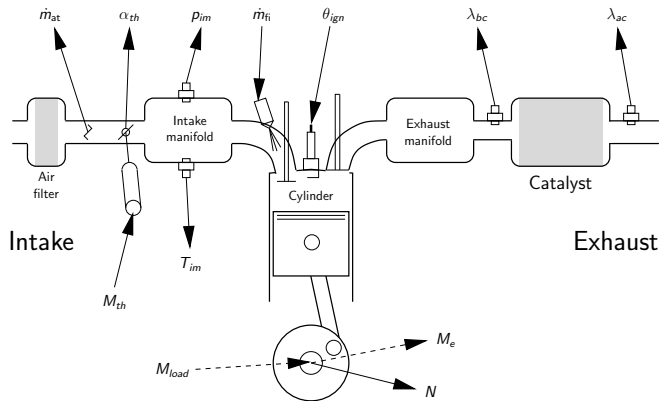
## Virtuell Motor - Tänk komponentmodellering

- Vilka mätningar behövs för att modellera komponenten?
- Hur är komponenten inkopplad vid mätningen? (katalysator  $p_{in} = p_{es}$ )
- Hur kopplas komponenten in i motorn? (katalysator  $p_{in} = p_{em}$ )



# Luft och bränsle → Arbete och emissioner

Nästa steg – Hoppa in i cylindern och räkna oss runt cykeln – Termodynamik  
Siktet inställt på en fysikaliskt baserad momentmodell.



# Repetition Termodynamik

## Isentropisk betyder

- Ingen värmeöverföring  $dq = 0$
- Reversibel process  $dw = p dv$

## Frigjord energi från bränslet

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

## Isokor process (konstant volym)

- Konstant volym  $dV = 0$
- Integrera 1:a huvudsatsen

$$\int_0^{Q_{in}} dQ = \int_{T_2}^{T_3} m_{tot} c_v dT \Rightarrow Q_{in} = m_{tot} c_v (T_3 - T_2)$$

## Viktigaste ekvationen + ideal gas

$$p v^\gamma = \text{konstant},$$

$$p_2 v_2^\gamma = p_1 v_1^\gamma \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\gamma-1} \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

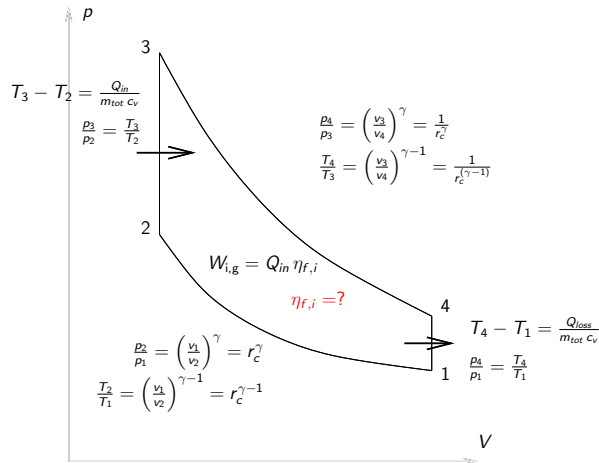
## Isobar process (konstant tryck)

- Konstant tryck  $dp = 0$
- Entalpidefinitionen + 1:a huvudsatsen

$$\int_0^{Q_{in}} dQ = \int_{T_2}^{T_3} m_{tot} c_p dT \Rightarrow Q_{in} = m_{tot} c_p (T_3 - T_2)$$

# Cykelräkning – $p_1$ och $T_1$ givna

Termodynamiken ger systematisk metod för att räkna runt cykeln



## Ottocykel konstant-volymförbränning

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

Dieselrykel eller cykel med konstant-trycksförbränning

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

Seiligercykel eller cykel med begränsat-tryck

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

# En Momentmodell som har en Struktur från Fysiken

Relation mellan arbete och moment

$$W = \oint M_c(\theta) d\theta = M 2 n_r \pi \Rightarrow M = \frac{W}{n_r 2 \pi}$$

Trekomponentsmodellen för momentet

$$M = \frac{W_{ig} - W_{\text{pump}} - W_{\text{fric}}}{n_r 2 \pi}$$

Indikerat bruttoarbete,  $W_{ig}$

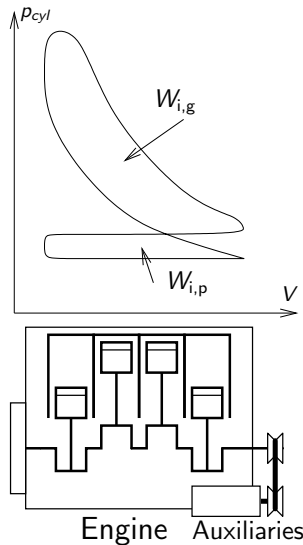
$$W_{ig} = m_f q_{LHV} \min(1, \lambda) \frac{1}{1 - r_c^{\gamma-1}} \eta_{ig, ch} \eta_{ign}$$

Pumparbete,  $W_{\text{pump}}$

$$W_{\text{pump}} = V_d (p_{em} - p_{im})$$

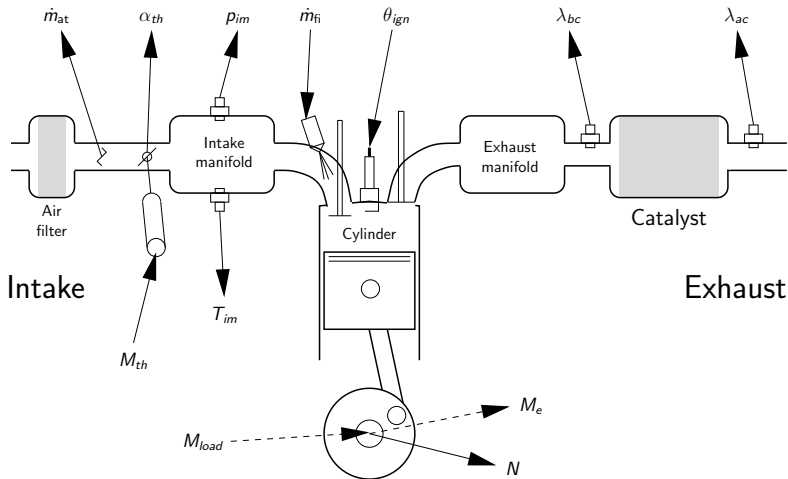
Friktionsarbete,  $W_{\text{fric}}$

$$W_{\text{fric}} = V_d FMEP(N)$$



# Emissioner före och efter katalysatorn

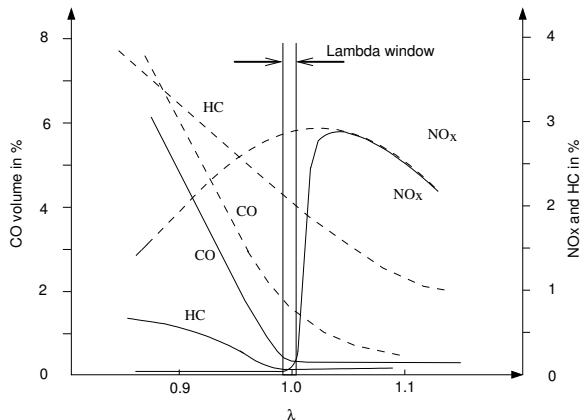
Samband mellan aktuator och sensorer samt sensorer inbördes.



# Trevägskatalysatorn och lambdafönsteret

streckad - före katalysatorn

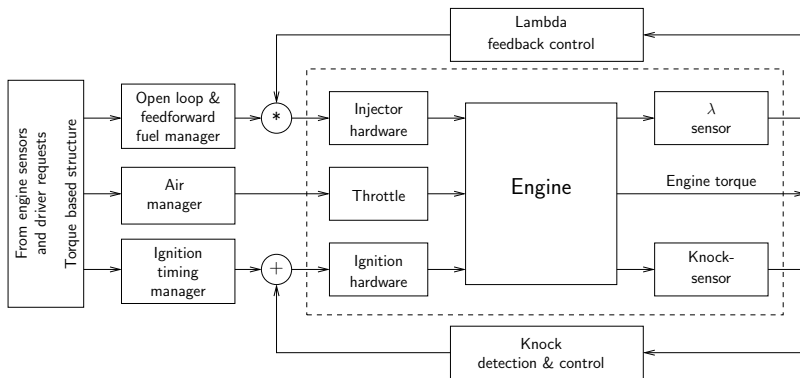
heldragen - efter katalysatorn



Avgasrening med trevägskatalysator - kräver reglering - ger reglermål  $\lambda = 1$   
Regulatorn behöver både framkoppling och återkoppling.

# Motorreglering Tre Regulatorer

Viktigaste reglerlooparna för bensinmotorer. Den översta är *lambda-regulatorn* (utsläpp), mellersta styr momentet (körbarhet) och den nedersta är *tändningsregulatorn* (effektivitet).





# PI reglering av $\lambda$

Framkopplingen (nödvändig) beräknar ett nominellt bränsleflöde (använder fyllnadsgraden)

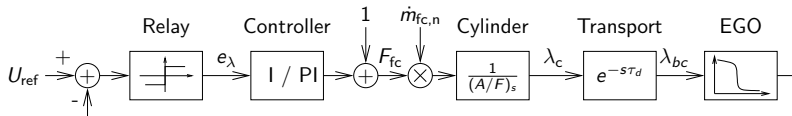
$$\dot{m}_{fc,n} = \dots$$

Återkopplingen justerar gissningen med en multiplikation

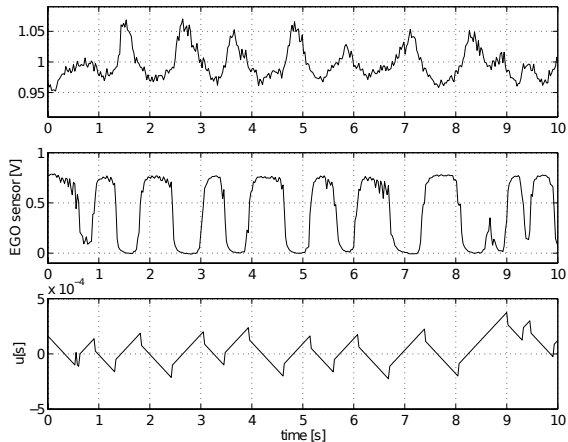
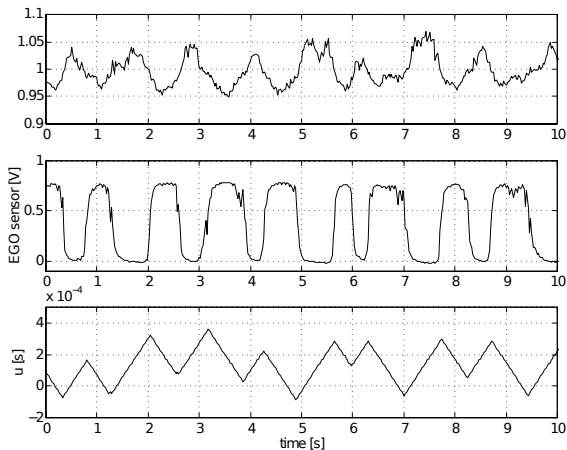
$$\dot{m}_{fc,d} = \dot{m}_{fc,n} F_{fc} = \dot{m}_{fc,n} (1 + \Delta_{fc})$$

Multiplikationen centreras runt 1.

$$F_{fc} = (1 + \Delta_{fc}) \quad \text{with} \quad \Delta_{fc} = K_I \int e_\lambda dt$$



# Experiment med återkopplad reglering i motorlabbet



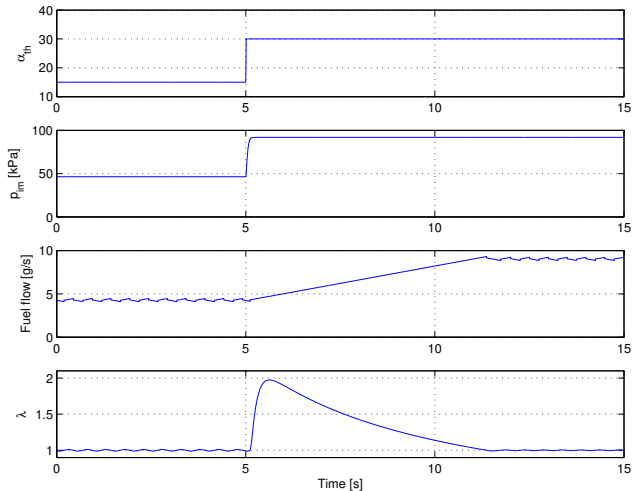
Känner igen huvuddragen från förra föreläsningen.  
Tuning av PI regulatorn kan göras bättre.

# Innehållsförteckning

- 1 Repetition
- 2 Fortsättning på reglering av  $\lambda$ 
  - (A/F) reglering
- 3 Bränslereglering
- 4 Emissioner
- 5 Mer om lambda regulatorn
- 6 Other Control Loops

# Varför räcker det inte med återkoppling?

Diskret sensor, tidsfördröjning, och hårda begränsningar på  $\lambda$  stationärt begränsar förstärkningen.



# Grundinsprutning & Framkopplingsloopen i $\lambda$ -regulatorn

Mass air flow principle (CFI):

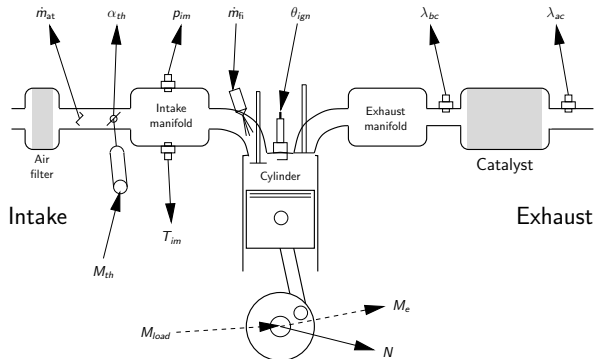
Kan mäta  $\dot{m}_{at}$

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{m}_{at}}{(A/F)_s \lambda}$$

Speed density principle (PFI):

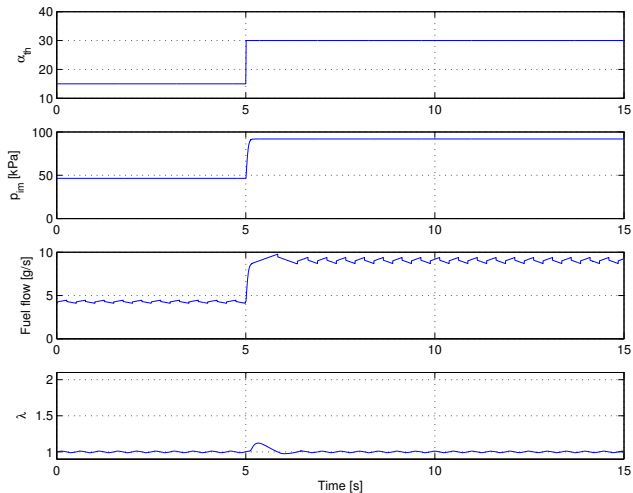
Använd  $\eta_{vol}$  och mät  $p_{im}$ ,  $N$ ,  $T_{im}$

$$\dot{m}_f = \eta_{vol}(N, p_{im}) \frac{p_{im} V_d N}{R T_{im} n_i} \cdot \frac{1}{(A/F)_s \lambda}$$



# Med framkoppling i $\lambda$ -regulatorn

Reglering med framkoppling  
(ingen kompensering för bränslefilmen)

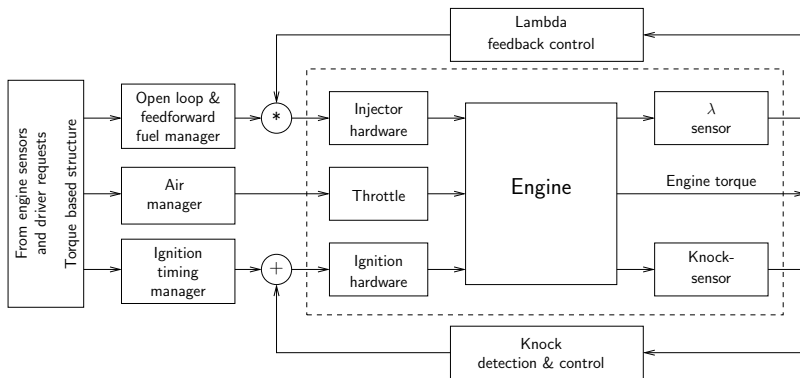


# Innehållsförteckning

- 1 Repetition
- 2 Fortsättning på reglering av  $\lambda$
- 3 Bränslereglering**
  - Lambda reglering
  - Bränslefilmskompensering
- 4 Emissioner
- 5 Mer om lambda regulatorn
- 6 Other Control Loops

# Fokus på $\lambda$ -reglering – Transienter

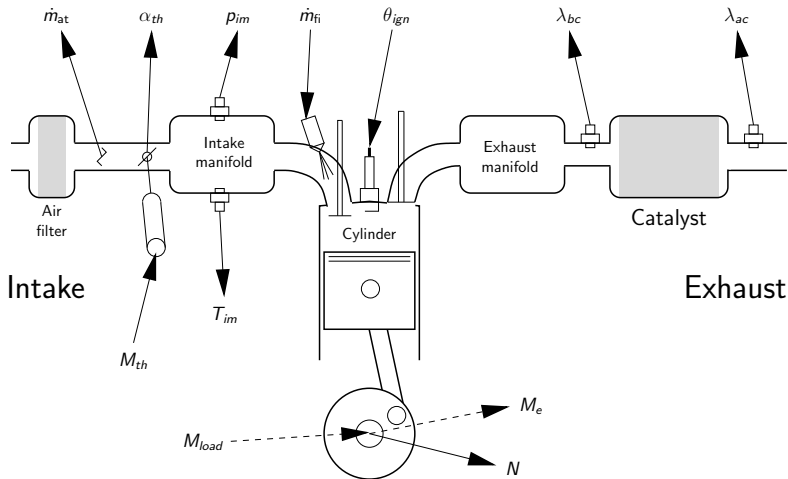
Viktigaste reglerlooparna för bensinmotorer. Den översta är *lambda-regulatorn* (utsläpp), mellersta styr momentet (körbarhet) och den nedersta är *tändningsregulatorn* (effektivitet).





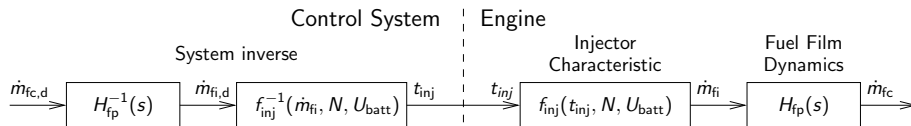
# Kompensering för bränslefilm och injektor

Samband mellan aktuator och sensorer samt sensorer inbördes.



# Framkoppling – Bränslefilm och injektor

## Grundprincip – Systeminvertering (statisk, dynamisk)

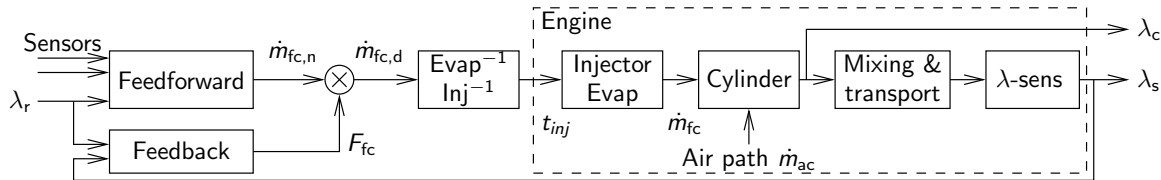


Om bränslefilmen är ett LTI-system, så kan  $H_{fp}(s)$  användas

$$\begin{cases} \frac{dm_{fp}}{dt} = X \dot{m}_{fi} - \frac{1}{\tau_{fp}} m_{fp} \\ \dot{m}_{fc} = (1 - X) \dot{m}_{fi} + \frac{1}{\tau_{fp}} m_{fp} \end{cases} \Leftrightarrow \dot{m}_{fc} = \underbrace{\left[ (1 - X) + \frac{X}{s \tau_{fp} + 1} \right]}_{H_{fp}(s)} \dot{m}_{fi}$$

om  $X$  och  $\tau_{fp}$  beror på arbetspunkten  $\Rightarrow$  använd observatör

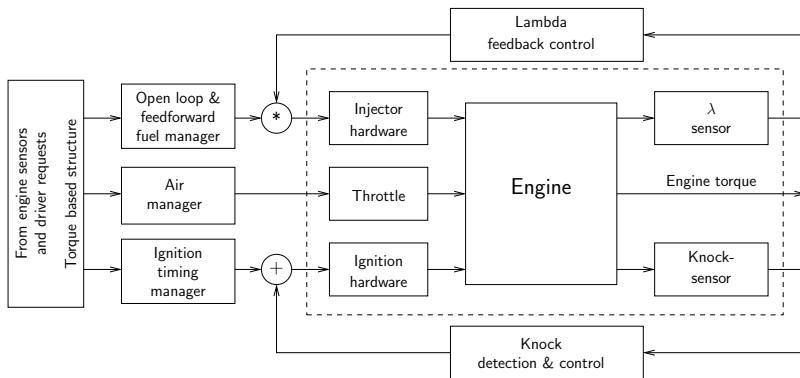
# $\lambda$ -reglering – Projektet



- Fram- och återkoppling i samverkan
- Direktinsprutad motor: ingen bränslepölsdynamik

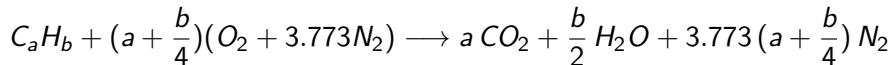
# Luft/bränsle regleringsloop – Återkoppling + framkoppling

Viktigaste reglerlooparna för bensinmotorer. Den översta är *lambda-regulatorn* (utsläpp), mellersta styr momentet (körbarhet) och den nedersta är *tändningsregulatorn* (effektivitet).



# Innehållsförteckning

- 1 Repetition
- 2 Fortsättning på reglering av  $\lambda$
- 3 Bränslereglering
- 4 Emissioner
  - Lagstiftning och Testcykler
- 5 Mer om lambda regulatorn
- 6 Other Control Loops

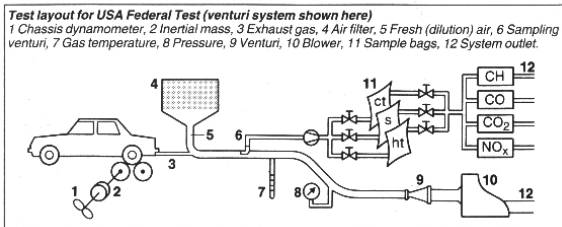
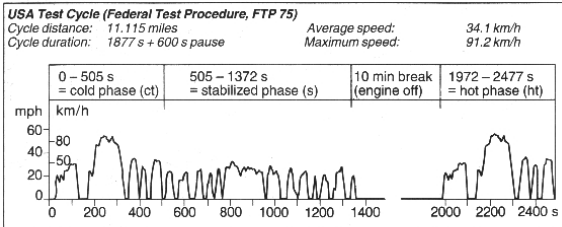


- Vatten, koldioxid och kväve räknas inte som emissioner.
- Minskning av koldioxidutsläpp kräver
  - minskad bränsleförbrukning
  - byter bränsle t.ex. mot metan  $CH_4$  eller biobränslen
  - samlar in avgaser...
- Bildas även  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ , och oförbrända kolväten  $HC$ .  
 $NO_x$  samlingsnamn på  $NO$ ,  $NO_2$ , ...

- Internationellt enhetliga procedurer för uppsamling av avgaser och mätningar.
- Hel bil i chassi-dynamometer (Jfr Bilprovning)
- Olika körcykler i olika länder. Förare håller hastigheten.
- CVS-metoden – (Constant Volume Sampling)
- Utspädning 1:10  
Fördelar: Slipper kondensation av vattenånga, vilket skulle reducera  $NO_x$ . Minskar reaktionstendensen i avgaserna.  
Nackdel: Svårare mätning ty lägre koncentration

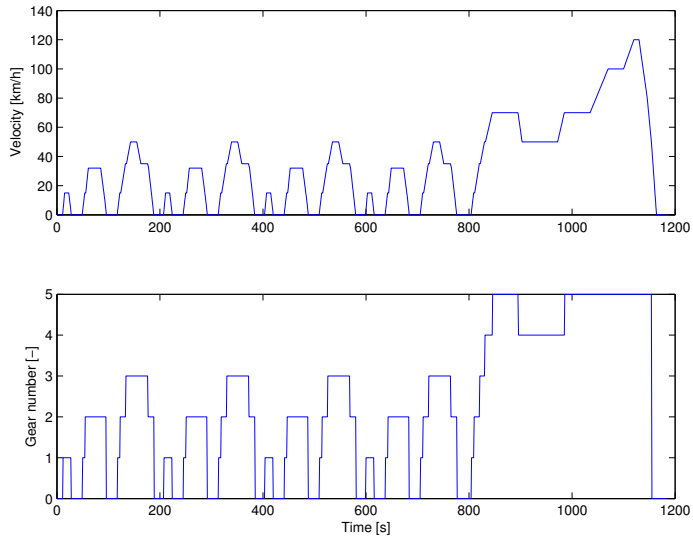
# US federal test procedure FTP 75 (Tre fasar)

Komb. m. SHED (Sealed Housing for Evaporative Determination).

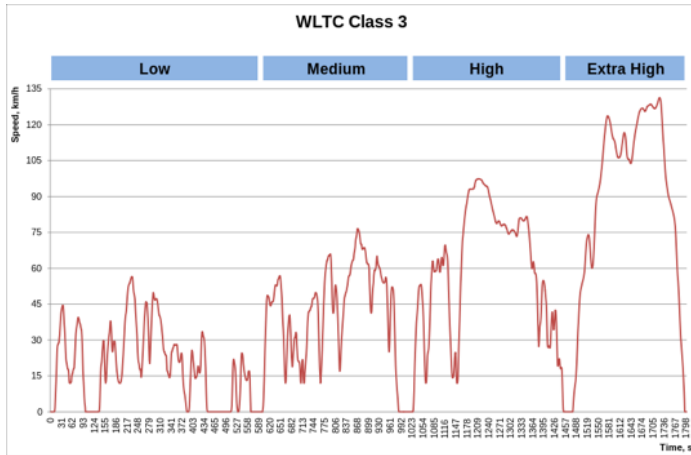




# New European Driving Cycle – NEDC (Proj. 1c)



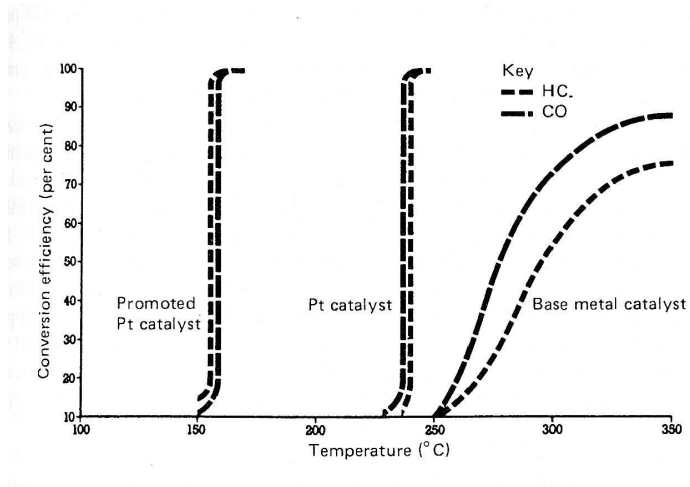
# Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC)



# Emissionsgränser, bensindriven personbil, USA (g/mile)

| year | CO<br>g/mile | HC<br>g/mile | NO <sub>x</sub><br>g/mile | Methods                                                                   |
|------|--------------|--------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1966 | 87.0         | 8.800        | 3.60                      | Pre control                                                               |
| 1970 | 34.0         | 4.100        | 4.00                      | Retarded ignition, thermal reactors, and exhaust gas re-circulation (EGR) |
| 1974 | 28.0         | 3.000        | 3.10                      | Same as above                                                             |
| 1975 | 15.0         | 1.500        | 3.10                      | Oxidizing catalysts                                                       |
| 1977 | 15.0         | 1.500        | 2.00                      | Ox.cat. and improved EGR                                                  |
| 1980 | 7.0          | 0.410        | 2.00                      | Improved ox.cat. and three way catalysts                                  |
| 1981 | 7.0          | 0.410        | 1.00                      | Improved threeway catalyst and support material                           |
| 1983 | 3.4          | 0.410        | 1.00                      | Continuous improvements                                                   |
| 1994 | 3.4          | 0.250        | 0.40                      |                                                                           |
| 1996 | 3.4          | 0.125        | 0.40                      |                                                                           |
| 2001 | 3.4          | 0.075        | 0.20                      |                                                                           |
| ⋮    | ⋮            | ⋮            | ⋮                         |                                                                           |

# Katalysator effektivitet och temperatur

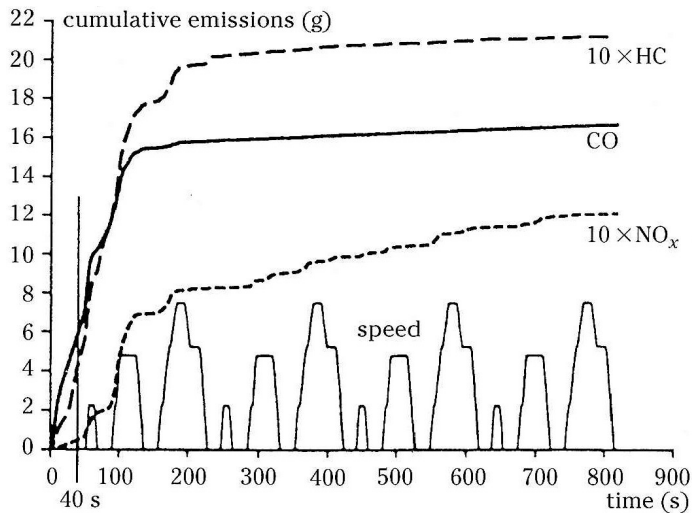


Vid start  $T \approx 20^\circ \text{C}$ .



Gaserna efterbehandlas inte.

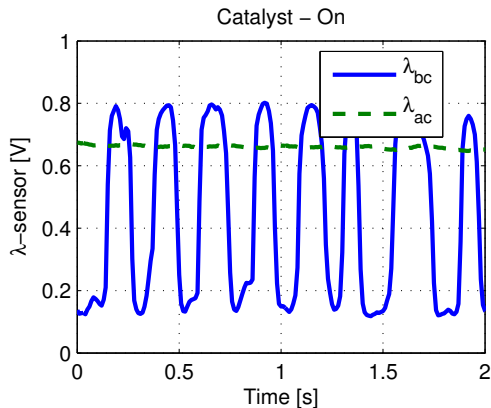
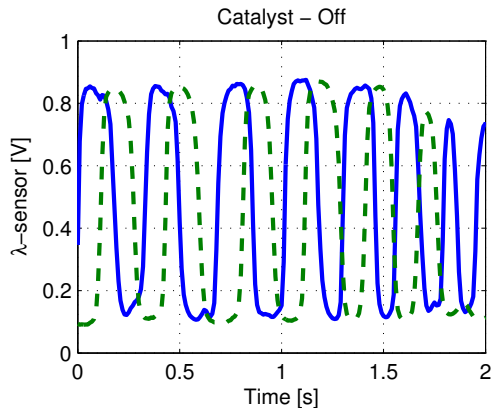
# Emissioner under en europeisk körcykel



Enkel medelvärdesmodell: Light-off tid.

# Hur ser man om katalysatorn funkar eller inte?

$\lambda$ -sensorer före och efter.



Till projektet gör kallstart och mät Light-off tid.

En utmaning för alla fordonsutvecklare...

**RDE** – Real Driving Emissions

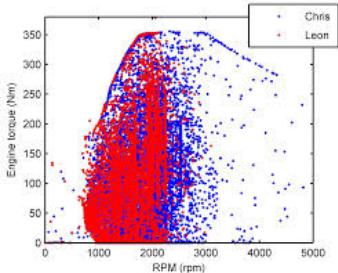
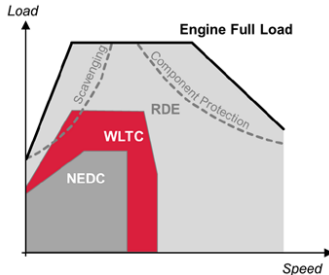
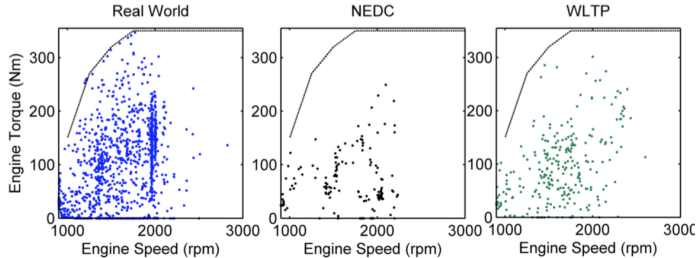
Myndigheterna kör en bil på väg. Enligt vissa procedurer...

Aggressiv körning, backar, höga höjder, låga temperaturer, ...

–Vad skall man utveckla mot för att klara detta?

# Engine operation in testing and real driving

Map coverage in cycles and in real driving.



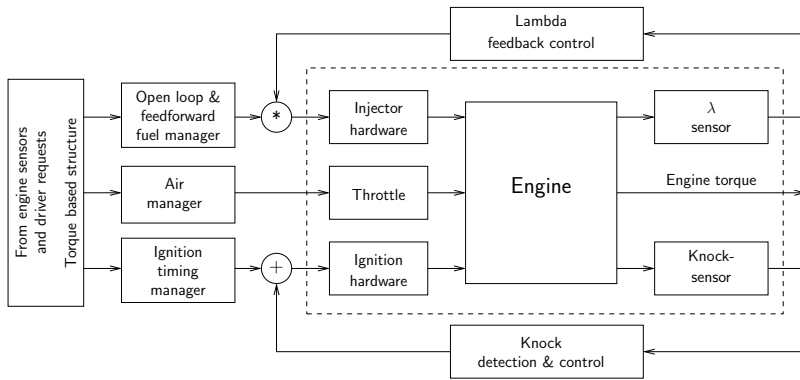


# Innehållsförteckning

- 1 Repetition
- 2 Fortsättning på reglering av  $\lambda$
- 3 Bränslereglering
- 4 Emissioner
- 5 Mer om lambda regulatorn
  - Feedforward Control – More Details
  - Model Based Control
- 6 Other Control Loops

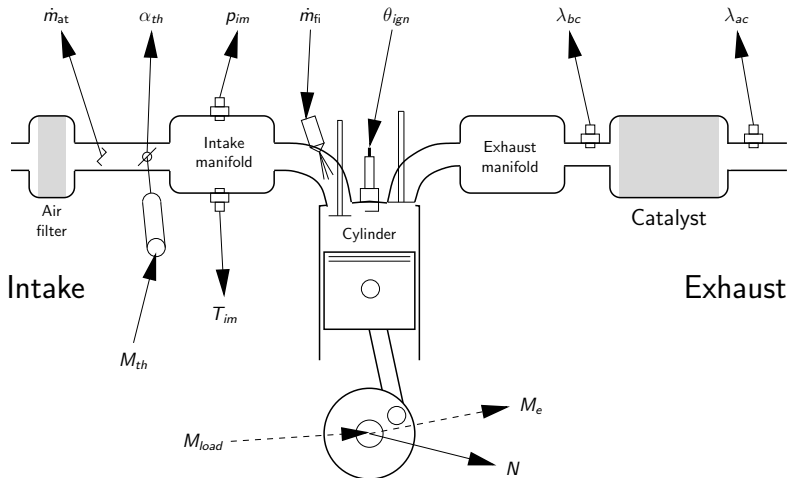
# Mer om reglerlooparna – Återkoppling

Viktigaste reglerlooparna för bensinmotorer. Den översta är *lambda-regulatorn* (utsläpp), mellersta styr momentet (körbarhet) och den nedersta är *tändningsregulatorn* (effektivitet).



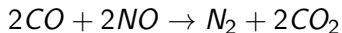
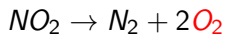
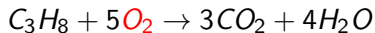
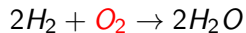
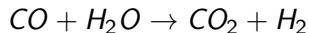
# Dubbel sensor $\lambda$ -reglerin – Katalysator reglering

Två sensorer krävs för katalysator diagnos.

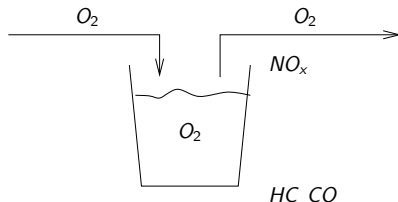
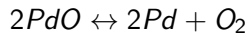
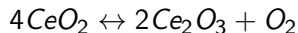


# Catalysatorn använder och lagrar Syre – Buffert Reglering

Emissions renande reaktioner.

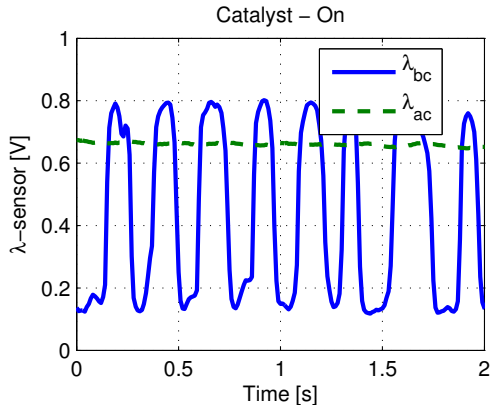
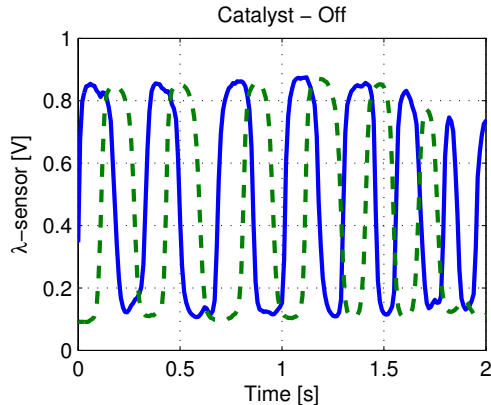


Syrelagrande reaktioner.



# Syrelaring i Katalysatorn.

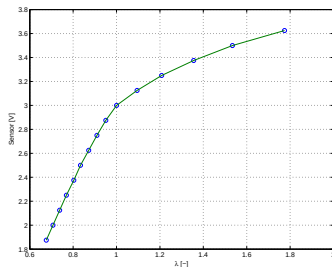
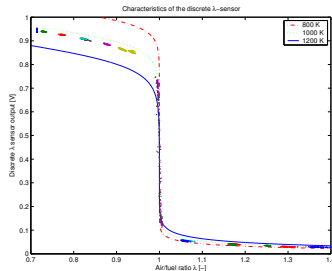
- Pre- and post-katalysator sensorer.
- Vänster – Katalysator kall (ingen funktion).
- Höger – Katalysator varm (fungerar).



Notera att spänningen ut från sensorn efter katalysatorn är  $> 0.6V$ , potential för justering.

# Reglering med Två Sensorer

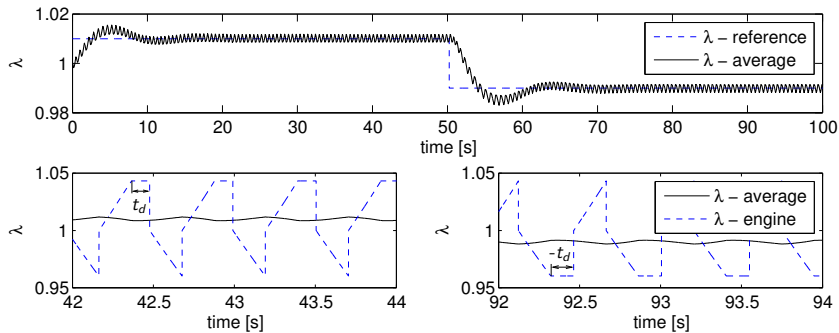
- Dubbla sensorer, 2 möjligheter.
  - Diskret före, diskret efter.
  - Kontinuerlig före, diskret efter.
- Varför inte kontinuerlig efter?
  - Åldring av sensorn
  - Offset, elektriska störningar
  - Temperatur beroende
  - Stringenta krav på  $\lambda = 1$   
Diskret växlingspunkt =  
Precis mätning av  $\lambda = 1$



- Cascade control, method depends on sensor configuration
  - Disc-Disc:
    - Delayed switching in the inner loop
  - Cont-Disc:
    - Changing the offset
    - Level control
- Model based control:
  - Control oriented models for catalysts difficult, active research field

# Delayed switching – Example

When relay sensor switches, hold the control output.

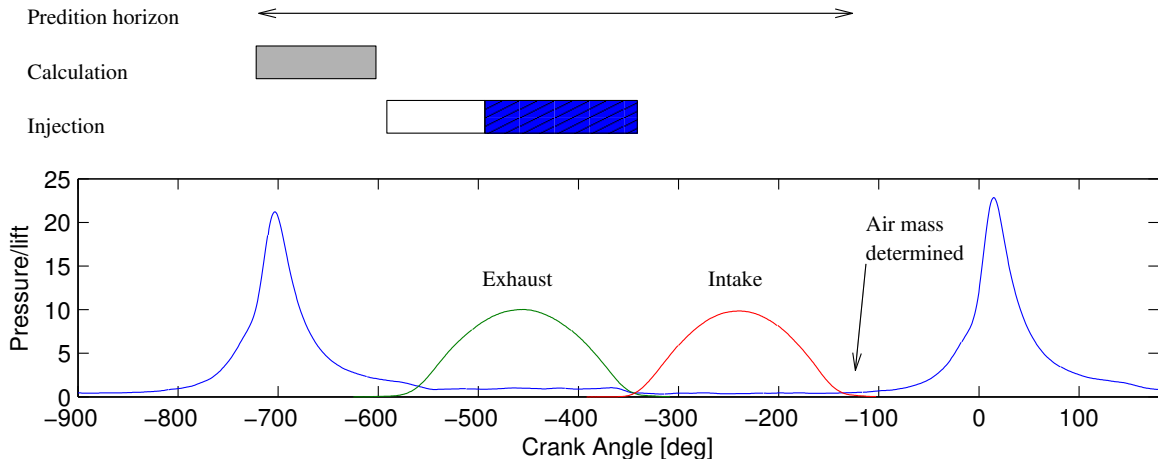




## Challenges:

- Timing requirement
  - Timing diagram
  - Timing requirement
  - Prediction requirement
- Signal processing
  - Filtering requirements, alias, pumping noise.
  - Phase lag.
- Ad-hoc methods
- Model based methods
  - Observer
  - Prediction (simulation)

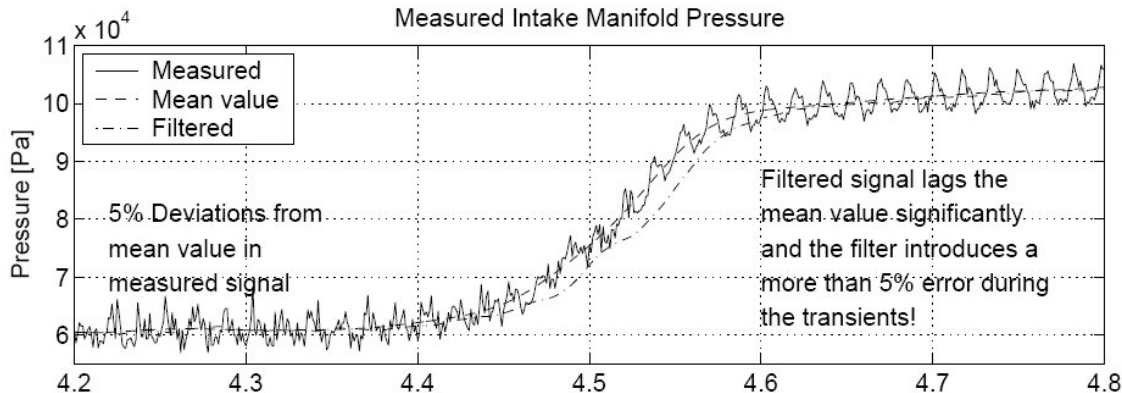
# Timing diagram – Requirement



- Timing is crucial – No time delay
- Prediction is necessary

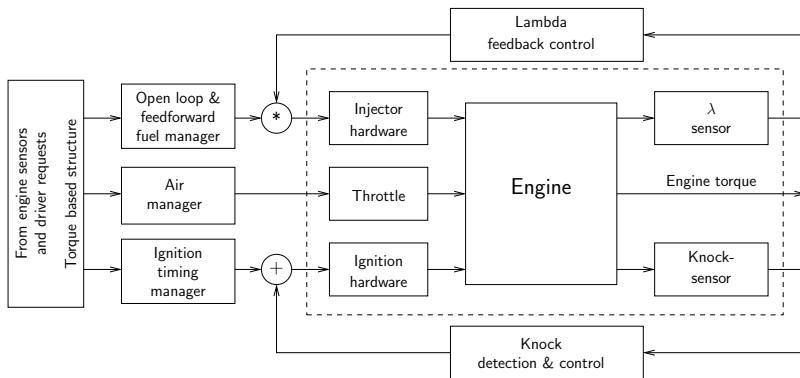
# Filtering requirement

Filtering adds a time lag



# Model based $\lambda$ -control

Viktigaste reglerlooparna för bensinmotorer. Den översta är *lambda-regulatorn* (utsläpp), mellersta styr momentet (körbarhet) och den nedersta är *tändningsregulatorn* (effektivitet).



# Model based control

Use the model for an observer that:

- estimates the states
- predicts the system behavior

System:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \\ \mathbf{y} &= \mathbf{g}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \end{cases}$$

Observer:

$$\begin{cases} \dot{\hat{\mathbf{x}}} &= \mathbf{f}(\hat{\mathbf{x}}, \mathbf{u}) + K(\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}) \\ \hat{\mathbf{y}} &= \mathbf{g}(\hat{\mathbf{x}}, \mathbf{u}) \end{cases}$$

# Model based control – An example

Model:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{dp_i}{dt} = \frac{R T_i}{V_i} (\dot{m}_{at}(\alpha, p_a, p_{im}, T_a) - \dot{m}_{ac}(N, p_{im}, T_{im})) & \text{States} \\ \frac{dm_{fp}}{dt} = X \dot{m}_{fi} - \frac{1}{\tau_{fp}} m_{fp} & \\ \dot{m}_{at} = \frac{p_a}{\sqrt{R T_a}} Q_{th}(\alpha) \Psi\left(\frac{p_{im}}{p_a}\right) & \text{Measured outputs} \\ p_{im} = p_{im} & \\ \dot{m}_{ac} = \eta_{vol}(N, p_{im}) \frac{V_d N p_{im}}{60 n_i R T_{im}} & \text{Non-measured outputs} \\ \dot{m}_{fp,c} = \frac{1}{\tau_{fp}} m_{fp} & \end{array} \right.$$

Observer:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{d\hat{p}_i}{dt} = \frac{R T_i}{V_i} (\hat{m}_{at} - \hat{m}_{ac}) + K_{11}(\dot{m}_{at} - \hat{m}_{at}) + K_{12}(p_{im} - \hat{p}_{im}) \\ \frac{d\hat{m}_{fp}}{dt} = X \dot{m}_{fi} - \frac{1}{\tau_{fp}} \hat{m}_{fp} + K_{21}(\dot{m}_{at} - \hat{m}_{at}) + K_{22}(p_{im} - \hat{p}_{im}) \\ \hat{m}_{at} = \frac{p_a}{\sqrt{R T_a}} Q_{th}(\alpha) \Psi\left(\frac{\hat{p}_{im}}{p_a}\right) \\ \hat{p}_{im} = \hat{p}_{im} \\ \hat{m}_{ac} = \eta_{vol}(N, \hat{p}_{im}) \frac{V_d N \hat{p}_{im}}{60 n_i R T_{im}} \\ \hat{m}_{fp,c} = \frac{1}{\tau_{fp}} \hat{m}_{fp} \end{array} \right.$$

# Model based control – Prediction

## General idea

- Start with state  $\hat{p}_{im}, \hat{m}_{fp}$ .
- Simulate the system over the prediction horizon, using guessed future inputs
  - Actuator constant
  - Can add actuator model
- Use new state and outputs from the model for the controller

## Model based control – Control action

Use the observer/predictor output to:

–calculate the desired fuel mass flow

$$\hat{m}_{fc} = \frac{\hat{m}_{ac}}{(A/F)_s \lambda}$$

–invert the fuel film dynamics and

$$\dot{m}_{fi} = \frac{1}{1-X} \left( \hat{m}_{fc} - \frac{1}{\tau_{fp}} m_{fp} \right) = \frac{1}{1-X} (\hat{m}_{fc} - \hat{m}_{fp,c})$$

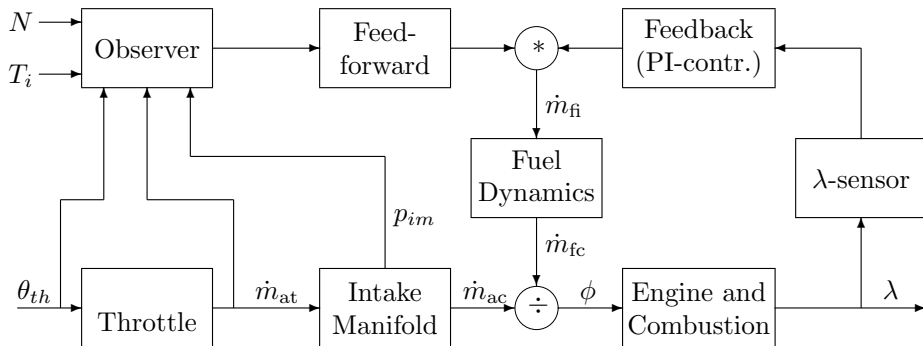
–invert injector characteristic

$$t_{inj} = \frac{\dot{m}_{fi}}{N c_1} + t_0(u_{batt})$$

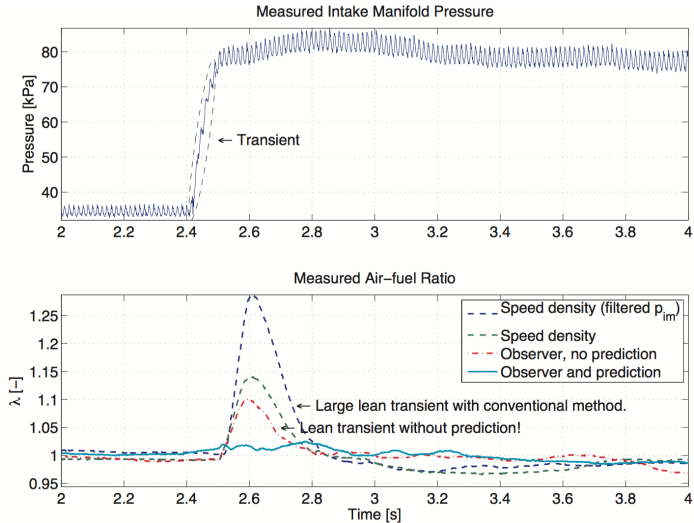


# Modellbaserad reglering – Detta exempel som blockschema

Flera modeller används för att beräkna framkopplingens utsignal och kombineras med återkoppling för att garantera  $\lambda = 1$ .



# Modellbaserad reglering – Resultat

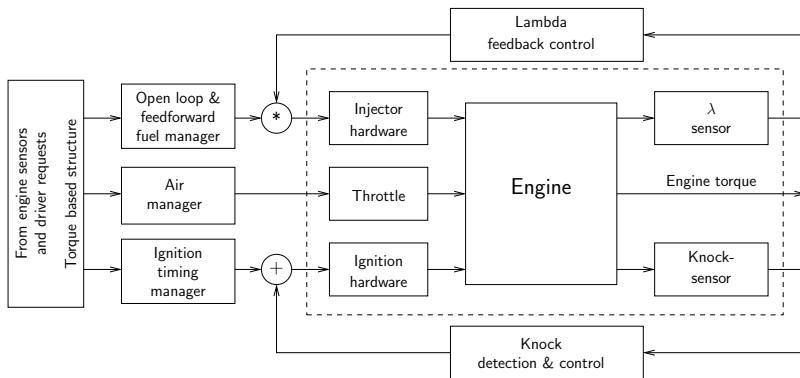


# Innehållsförteckning

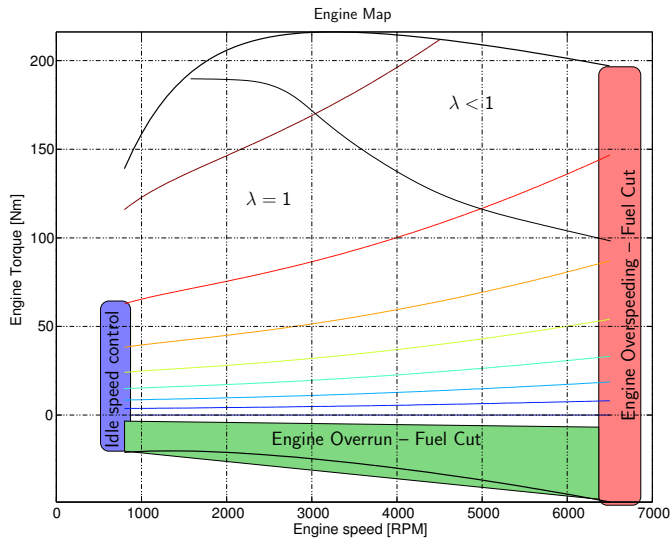
- 1 Repetition
- 2 Fortsättning på reglering av  $\lambda$
- 3 Bränslereglering
- 4 Emissioner
- 5 Mer om lambda regulatorn
- 6 Other Control Loops
  - Strategy Map
  - EGR Control
  - Purge control

## Finns andra saker som regleras också: IVO, EVO, EGR.

Viktigaste reglerlooparna för bensinmotorer. Den översta är *lambda-regulatorn* (utsläpp), mellersta styr momentet (körbarhet) och den nedersta är *tändningsregulatorn* (effektivitet).

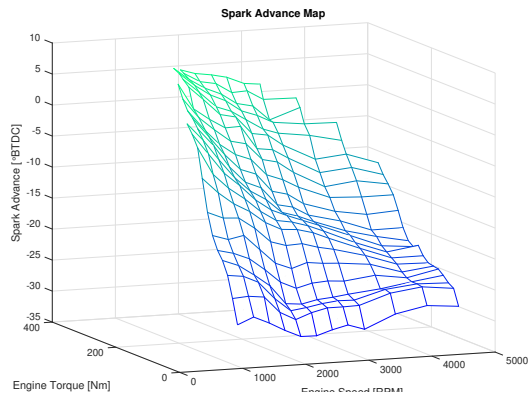
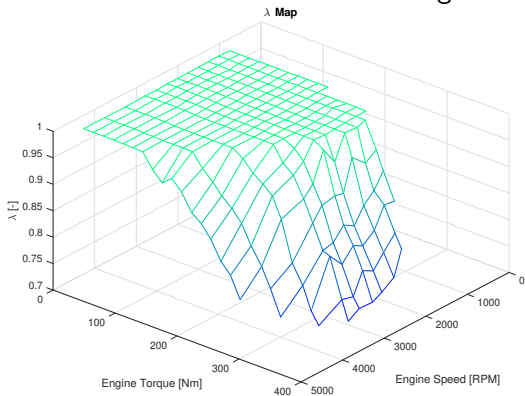


# Reglerstrategier – Motorkartan



# Reglerstrategier – Lambda och Tändning

Moderna börvärden för motorer idag med TWC.

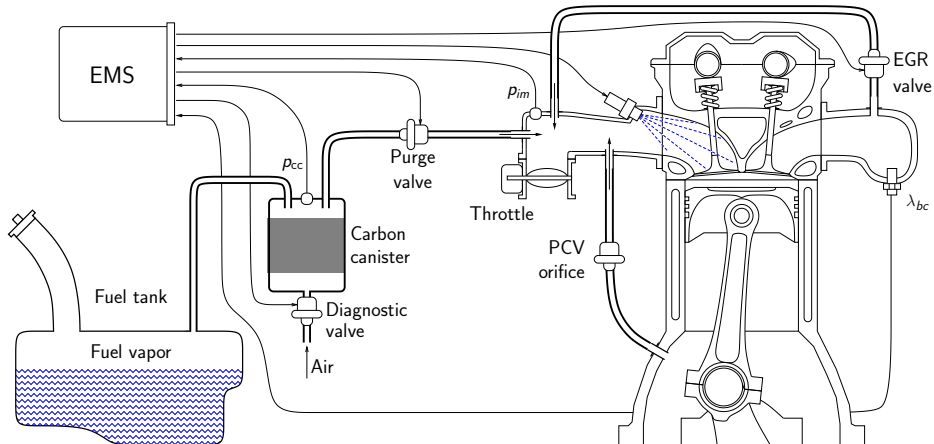


Utsläpp och bränsleekonomi är grunden i låglast och låga varvtal.

Motorskydd tar vid vid höga varvtal och höga laster.

# Andra System

Andra system påverkar luft-bränsle-förhållandet



# EGR reglering (Exhaust Gas Recirculation)

- Why:** Reduce  $NO_x$ .  
Better part load  $p_{im}$ -increases.  
Lower the knock tendencies at high load (cooled EGR).
- What:** Dilute unburned gases with burned.
- How:** Open a valve between intake and exhaust.  
Shut of at idle and full load.
- Challenges:** Consequences for the  $\lambda$ -controller.  
How can the amount of EGR be determined?  
There is an upper limit on the dilution level.  
There are not yet sufficiently good models.  
Soot and particles clogs the pipes.

Open loop, calibration.  $\leftrightarrow$  Feedback control.



# Purge control

**Why:** Evaporative HC emissions.

**What:** Empties carbon canister of fuel.

**How:** Opens the valve into the intake system.

**Challenges:** Maintain  $\lambda = 1$  and driveability at valve opening.

1% volymflöde med HC  $\Rightarrow$   $\sim 20\%$  i  $\lambda$ .

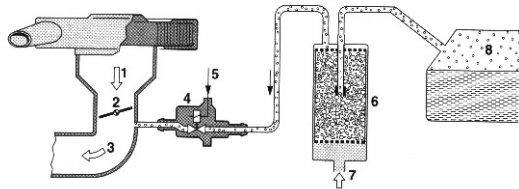
–Binary control valve (difficult).

–Continuous valve (easier).

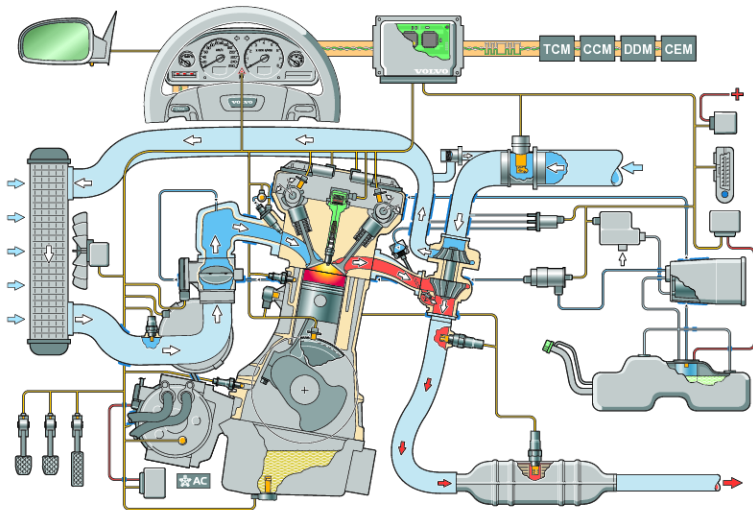
Shut off at idle and full load.

**Evaporative emission-control system**

1 Intake air, 2 Throttle valve, 3 Intake manifold (to engine), 4 Canister-purge valve, 5 From engine-management ECU, 6 Carbon canister, 7 Ambient air, 8 Fuel vapors in tank.



# Ännu fler regulatorer



- 1 Repetition
  - Modellvalidering
  - Termodynamik
  - Reglering – Reglermål
- 2 Föreläsning på reglering av  $\lambda$ 
  - (A/F) reglering
- 3 Bränslereglerting
  - Lambda reglering
  - Bränslefilmskompensering
- 4 Emissioner
  - Lagstiftning och Testcykler
- 5 Mer om lambda regulatorn
  - Feedforward Control – More Details
  - Model Based Control
- 6 Other Control Loops
  - Strategy Map
  - EGR Control
  - Purge control