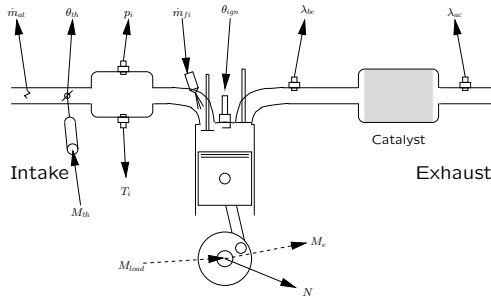


Luft och bränsle → Arbete och emissioner

Medelvärdesmodellering

Samband mellan aktuator och sensorer samt sensorer inbördes.



Lars Eriksson

1

Augusti 2007

Motor – Repetition – Medelvärdesmodeller

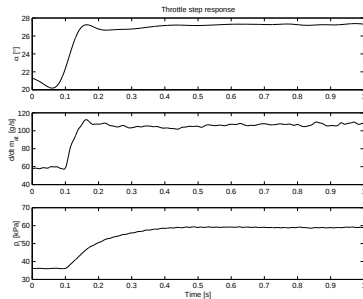
Målet är modeller som beskriver denna typ av signaler.

Jämför tidskonstanten med 3000 rpm = 50 rps $\Rightarrow$ 0.02 s/varv

Steg i trottell
(aktuator)

Luftflöde
(sensor)

Tryck
(sensor)

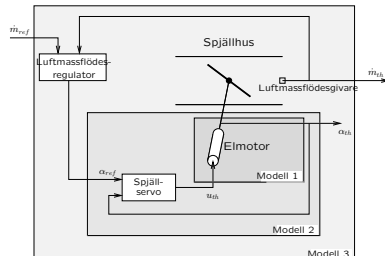


Lars Eriksson

3

Augusti 2007

Trottelflödesmodeller (förslag till laborationen 1c).



Fyra modeller (tre numrerade):

Modell 1: Trottelservo $u_{th} \rightarrow \alpha$
 Modell 2: Trottelservo $\alpha_{ref} \rightarrow \alpha$
 Luftmassflöde: $A(\alpha) \rightarrow \dot{m}_{at}$
 Modell 3: Luftmassflödesregulator: $\dot{m}_{at,ref} \rightarrow \dot{m}_{at}$

Lars Eriksson

5

Augusti 2007

Modellsammanfattning

Gaspedalstolkning

$$\dot{m}_{at,ref} = \dot{m}_{at,max}(N) \cdot u_{pedal} \quad \text{där } u_{pedal} \in [0, 1]$$

Luftflöde in i insugningsröret

$$\dot{m}_{at} = H(s) \dot{m}_{at,ref}$$

Luftflöde in i cylindern

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

Tryckuppbyggnad i insugningsröret

$$\frac{dp}{dt} = \frac{RT}{V} \frac{dm}{dt} = \frac{RT}{V} (\dot{m}_{at} - \dot{m}_{ac})$$

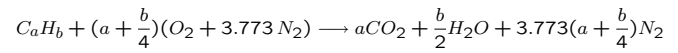
Lars Eriksson

7

Augusti 2007

Förbränning och stökiometri

Perfekt förbränning av ett kolväte



Stökiometriskt luft/bränsle-förhållande

$$(A/F) = \frac{m_a}{m_f} \text{ och } (A/F)_s = \frac{(a + \frac{b}{4})(2 \cdot 16.00 + 3.773 \cdot 2 \cdot 14.007)}{12.01 a + 1.008 b}$$

$$\lambda = \frac{(A/F)}{(A/F)_s} \text{ och } \phi = \frac{1}{\lambda}$$

Frigord värme och en enkel modell: $Q = \min(\lambda, 1) \cdot m_f \cdot q_{LHV}$

Lars Eriksson

2

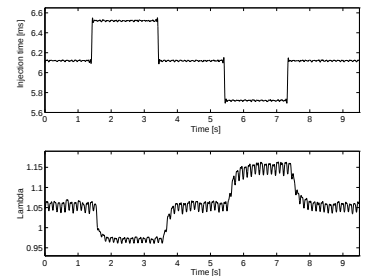
Augusti 2007

Motor – Repetition – Medelvärdesmodeller

Även ett bränsledynamiksexempel:

Steg i insprutad bränslemängd.

Svaret i λ
(+ elektrisk störning.)



Lars Eriksson

4

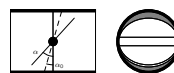
Augusti 2007

Luftflödesmodell

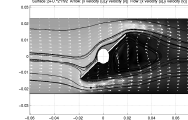
Kompressibel isentropisk strömning genom en strypning.

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

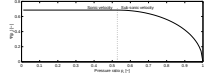
Area $A_{th}(\alpha)$



Kontraktion $C_{th}(\alpha)$



Ljudhastigheten



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

Lars Eriksson

6

Augusti 2007

Bränsleinjektor

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

Bränslefilm

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

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

λ till motor

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

Transportfördröjning

$$\lambda_e(t) = \lambda(t - \tau_d(N))$$

Sensordynamik

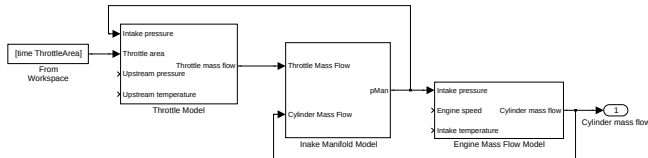
$$\frac{d}{dt} \lambda_s(t) = \frac{1}{\tau_\lambda} (\lambda_e(t) - \lambda_s(t))$$

Lars Eriksson

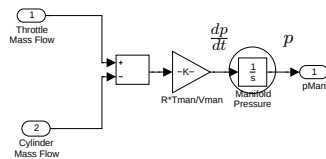
8

Augusti 2007

Implementering av tryckkuppbyggnad



ODE för tryckdynamiken i insugningsröret



$$\frac{dp}{dt} = \frac{RT}{V}(\dot{m}_{at} - \dot{m}_{ac})$$

$$p(t) = p_0 + \int_{t_0}^t \frac{dp}{dt} dt$$

$$p(t) = p_0 + \int \frac{RT}{V}(\dot{m}_{at} - \dot{m}_{ac}) dt$$

$$p(t) = p_0 + \frac{1}{s} \frac{RT}{V}(\dot{m}_{at} - \dot{m}_{ac})$$

Ange starttillståndet $p_0 = p(t_0)$ i $\frac{1}{s}$

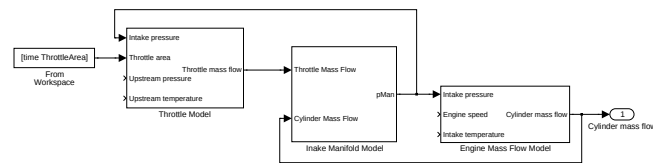
Lars Eriksson

9

Augusti 2007

Insugningsrör – Modellvalidering

- Validering – Jämföra modell och verklighet (mätning)



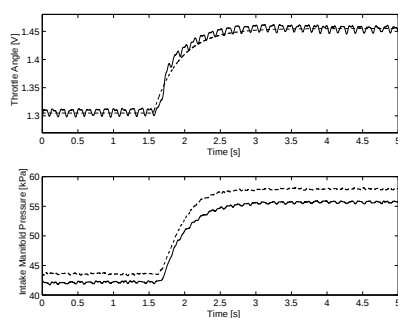
- Koppla in uppmätta signaler till modellen
- Simulera $\Rightarrow$ Utsignal
- Jämför simuleringsresultatet med mätningen

Lars Eriksson

10

Augusti 2007

Insugningsrör – Modellvalidering



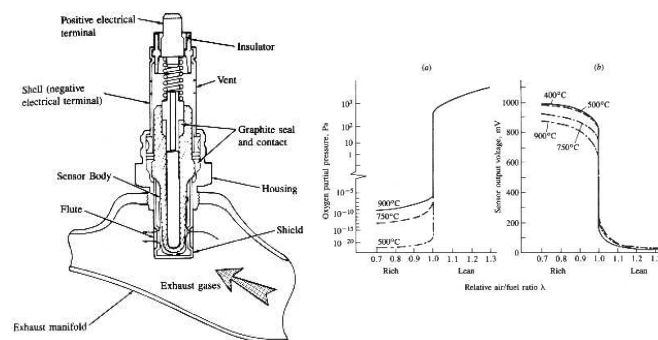
Lars Eriksson

11

Augusti 2007

Diskret λ -sensor

Billigaste möjliga sensorn för ändamålet



Lars Eriksson

12

Augusti 2007

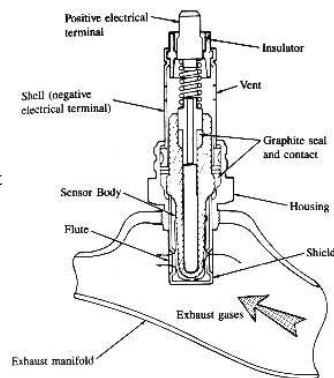
Sensormodell för diskret sensor

Sensors utsignal

$$\lambda_{\text{sond}} = \begin{cases} 1 \text{ V} & \text{om } \lambda_s < 1 \\ 0.6 \text{ V} & \text{om } \lambda_s = 1 \\ 0 \text{ V} & \text{om } \lambda_s > 1 \end{cases}$$

Signalkonditionering i styrsystemet omvandlar enkelt signalen till

$$\lambda_{\text{sond}} = \begin{cases} 1 & \text{om } \lambda_s > 1 \\ 0 & \text{om } \lambda_s = 1 \\ -1 & \text{om } \lambda_s < 1 \end{cases}$$

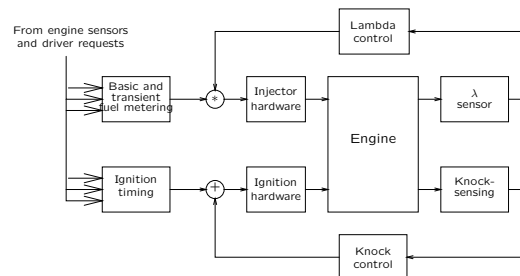


Lars Eriksson

13

Augusti 2007

Motorreglering - De två huvudlooparna



De olika regulatorerna kan vara
 –ad hoc lösningar
 –baserade på mappar
 –modellbaserade designmetoder

Lars Eriksson

14

Augusti 2007

Bensinmotorreglering

Två huvudloopar för alla bensinmotorer:

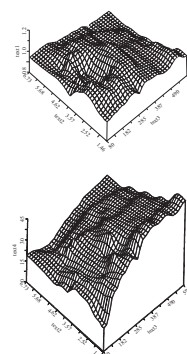
- Luft- och bränslereglring (Emissioner)
- Tändningsreglering (Effektivitet eller bränsleförbrukning)

Lars Eriksson

15

Augusti 2007

Engine control - Map based control



Mapbaserad eglering can utvidgas och optimeras till mycket stor förfiningsgrad.

Ett exempel med optimal luft/bränsle λ and tändningsvinkel α för ett FTP test.

Lars Eriksson

16

Augusti 2007

Motorreglering – Mappbaserad reglering

- I grundläggande mappbaserad reglering är varvtalet och trycket insignaler och utsignalen från mappen är styrsignalen, t.ex. $t_{inj} = f(N, p_i)$.
- Mappbaserad reglering är väletablerad teknik i industrin och man kan utvidga mapparna till fler sensorer och ha kompensations mappar för t.ex. transienter, varvtals förändringar, kallstarter, etc.
- Nackdelen med dessa är att det tar tid att kalibrera alla mappar bestämma alla värden i alla mappar i ett modernt system. Detta motiverar den nya trenden att använda modeller med få(färre) parametrar som beskriver funktionen istället.

Lars Eriksson

17

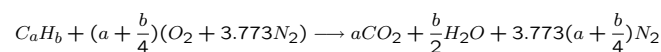
Augusti 2007

Fordonssystem

Fö 3: Emissioner

Reglermål – Emissioner från motorn

Perfekt förbränning



Vatten, koldioxid och kväve räknas inte som emissioner.

(Minskning av koldioxidutsläpp kräver minskad bränsleförbrukning, eller att man samlar alla avgaser?)

Bildas även NO , NO_2 , CO , och oförbrända kolväten HC

Lars Eriksson

19

Augusti 2007

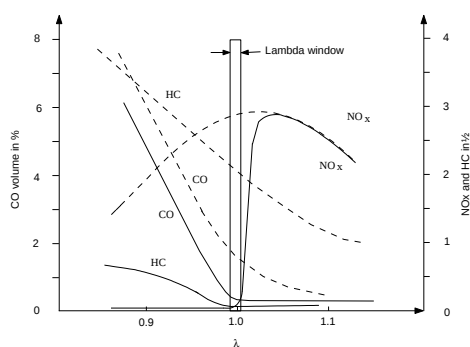
Fordonssystem

Fö 3: Emissioner

Trevägs-katalysatorn och lambdafönstret

streckad - före katalysatorn

heldragen - efter katalysatorn



Lars Eriksson

21

Augusti 2007

Fordonssystem

Fö 3: Luft och bränsle reglering

Luft- och bränslereglering

Grunläggande mål:

Ge en förbränningsbar blandning av luft och bränsle.

Delmål:

Reglera $\lambda = 1$ – emissionsrening (**viktigast**)

Reglera $\lambda > 1$ – bränsleeffektivitet

Reglera $\lambda < 1$ – skydda motor och andra komponenter

Strategier:

Föraren $\rightarrow$ spjällvinkel

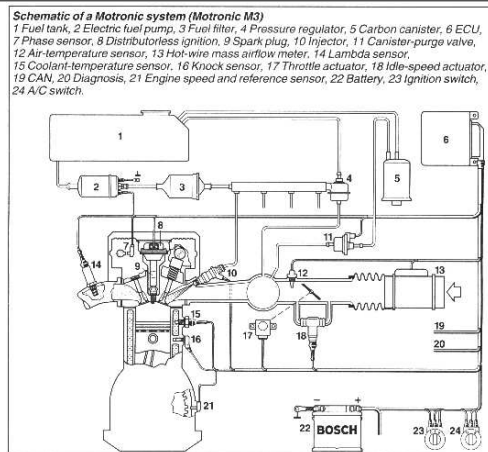
Föraren $\rightarrow$ bränslemängd

Föraren $\rightarrow$ "luftmängd" reglerasystemet styr α och $\dot{m}_{fi}$.

Lars Eriksson

23

Augusti 2007



Lars Eriksson

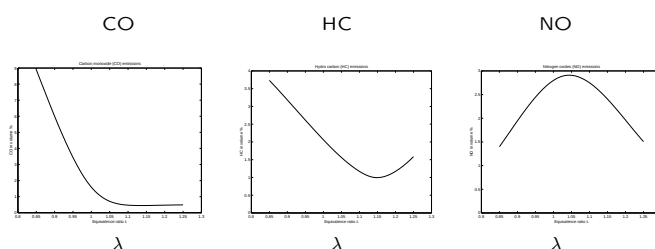
18

Augusti 2007

Fordonssystem

Fö 3: Emissioner

Emissionerna påverkas av luft/bränsle förhållandet



Kan förstå det mesta från reaktionsekvationen

Lars Eriksson

20

Augusti 2007

Fordonssystem

Fö 3: Emissioner

Trevägs-katalysatorn:

- oxiderar - HC
- oxiderar - CO
- reducerar - NO , NO_2

med hög effektivitet om $\lambda \in 1 \pm 0.03$

Avgasrening med trevägs-katalysator - kräver reglering

Lars Eriksson

22

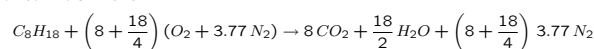
Augusti 2007

Fordonssystem

Fö 3: Luft och bränsle reglering

Trevägs-katalysatorn – λ -sonden

Stökiometrisk reaktion (perfekt blandning och förbränning) mellan isooktan och luft.



I verkligheten bildas det alltid HC , CO , NO_x , O_2 , ...

Trevägs-katalysatorn reducerar NO_x samt oxiderar HC och CO om $\lambda = 1$.

För bra funktion krävs att $\lambda = 1 \pm 0.03$

λ -sonden mäter syrekonzentrationen.

Omslagspunkten ger information om $\lambda = 1$.

Lars Eriksson

24

Augusti 2007

λ -reglering ($\lambda = 1 \pm 0.03$)

Hårt krav och modellosäkerheter $\Rightarrow$ **Återkoppling** nödvändig.

Stationärt $\lambda = 1$:

Återkoppling från (diskret) λ -sensor.

Tidsfördröjning $\tau_d(N)$

$\Rightarrow$

Framkoppling nödvändig.

(Enbart återkoppling räcker ej under transienter.)

Transient:

Framkoppling från t.ex. pedalrörelse eller varvtalsförändring.

Speed density – Mass air flow.

Lars Eriksson

25

Augusti 2007

Återkopplad λ -reglering

Krav: $\lambda = 1$ stationärt (inget stationärt fel).

Vilken är den enklaste regulatorn som uppfyller detta?

Analys av reglersystemet

– Periodiska lösningar med Poincarés metod.

– Förenklad grafisk lösning men fortfarande exakt lösning.

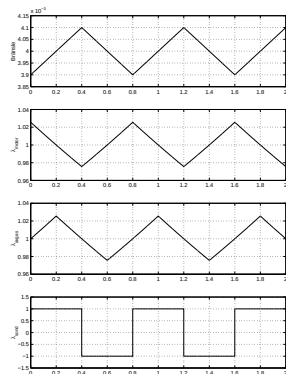
Lars Eriksson

26

Augusti 2007

Fordonssystem

Fö 3: Luft och bränsle reglering

**Integrerande regulator**

Bränsle: $u(t) = K_I \int \lambda_{sond}(t) dt$

$$\lambda_{motor}(t) = \frac{K_{luft}(t)}{u(t)}$$

$$\lambda_{avg}(t) = \lambda_{motor}(t - \tau_d)$$

$$\lambda_{sond}(t)$$

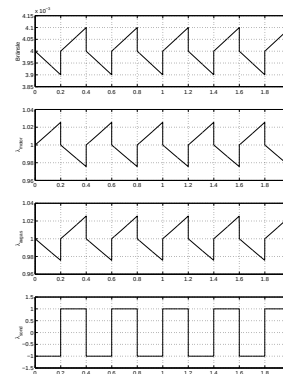
Lars Eriksson

27

Augusti 2007

Fordonssystem

Fö 3: Luft och bränsle reglering

**PI regulator**

$$u(t) = K_p \lambda_{sond}(t) + K_I \int \lambda_{sond}(t) dt$$

$$K_p = \frac{1}{2} \tau_d K_I$$

$$\lambda_{motor}(t) = \frac{K_{luft}(t)}{u(t)}$$

$$\lambda_{avg}(t) = \lambda_{motor}(t - \tau_d)$$

$$\lambda_{sond}(t)$$

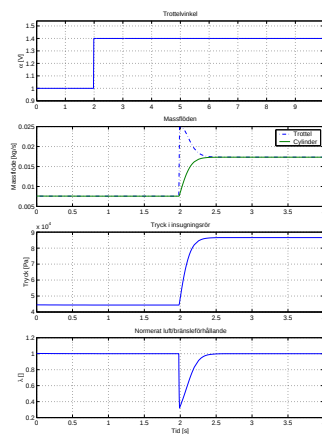
Lars Eriksson

28

Augusti 2007

Fordonssystem

Fö 3: Luft och bränsle reglering

 **λ -Reglering – Transient**

Kan inte mäta $\dot{m}_{ac}$

Mass air flow principle:

Kan mäta $\dot{m}_{at}$

Problem pga ej rätt flöde (se fig)

Speed density principle:

Utnyttja η_{vol} och mät p_i , N samt T_i .

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

Viktiga praktiska aspekter:

Svarstid i trycksensor, filtrering, prediktering.

Lars Eriksson

29

Augusti 2007

Modellbaserad reglering

Använd modellen och skapa en observatör som:

- rekonstruerar tillstånden
- predikterar systemets beteende

System:

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

Observatör:

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

Lars Eriksson

30

Augusti 2007

Fordonssystem

Fö 3: Luft och bränsle reglering

Modellbaserad reglering – Ett exempel

Modellen:

$$\begin{cases} \frac{d\hat{p}_i}{dt} = \frac{RT_i}{V_i} (\dot{m}_{at}(\alpha, p_a, p_i, T_a) - \dot{m}_{ac}(N, p_i, T_i)) & \text{Tillstånd} \\ \frac{d\hat{m}_{fp,c}}{dt} = X \dot{m}_{fi} - \frac{1}{\tau_{fp}} \dot{m}_{fp} & \\ \dot{m}_{at} = \frac{p_a}{\sqrt{RT_a}} Q_{th}(\alpha) \Psi\left(\frac{p_i}{p_a}\right) & \text{Mätbara utsignaler} \\ \hat{p}_i = p_i & \\ \dot{m}_{ac} = \eta_{vol}(N, p_i) \frac{V_d N \hat{p}_i}{60 n_i R T_i} & \text{Icke mätbara utsignaler} \\ \dot{m}_{fp,c} = \frac{1}{\tau_{fp}} \dot{m}_{fp} & \end{cases}$$

Observatören:

$$\begin{aligned} \frac{d\hat{p}_i}{dt} &= \frac{RT_i}{V_i} (\hat{m}_{at} - \hat{m}_{ac}) + K_{11}(\dot{m}_{at} - \hat{m}_{at}) + K_{12}(p_i - \hat{p}_i) \\ \frac{d\hat{m}_{fp,c}}{dt} &= X \hat{m}_{fi} - \frac{1}{\tau_{fp}} \hat{m}_{fp} + K_{21}(\dot{m}_{at} - \hat{m}_{at}) + K_{22}(p_i - \hat{p}_i) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{m}_{at} &= \frac{p_a}{\sqrt{RT_a}} Q_{th}(\alpha) \Psi\left(\frac{\hat{p}_i}{p_a}\right) \\ \hat{p}_i &= p_i \\ \hat{m}_{ac} &= \eta_{vol}(N, \hat{p}_i) \frac{V_d N \hat{p}_i}{60 n_i R T_i} \\ \hat{m}_{fp,c} &= \frac{1}{\tau_{fp}} \hat{m}_{fp} \end{aligned}$$

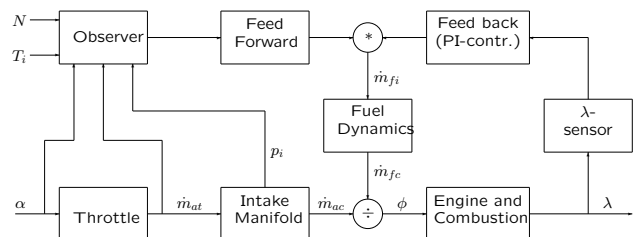
Lars Eriksson

31

Augusti 2007

Fordonssystem

Fö 3: Luft och bränsle reglering

Modellbaserad reglering – Ett exempel

Notera att regulatorn har en kombination av fram- och återkoppling.

Återkopplingen multiplikativ, ger information om $(A/F)_s$.

Lars Eriksson

32

Augusti 2007