

Diagnos i fordon, OBDII, och generell metodik

Erik Frisk

Fordonssystem
Institutionen för systemteknik
Linköpings universitet

7 december, 2016



Linköping University

1

Varför diagnos i fordon?

- Lagkrav ställer hårdare och hårdare krav. Ursprungligen från Kalifornien (CARB) OBD (1988)/OBD-II (1994) men nu även i resten av USA/Europa.
- Även för lastbilar (2005 basic Euro 4, 2006 Euro 4, 2008 Euro 5, 2014 Euro 6)
- Tillgänglighet, reparerbarhet, mekanikerstöd
- Stor andel av utsläpp från bilar sker från bilar med felaktiga komponenter i emissionskontrollen (mer än 50% av emissionerna).
- Feltolerant reglering

Vad krävs?

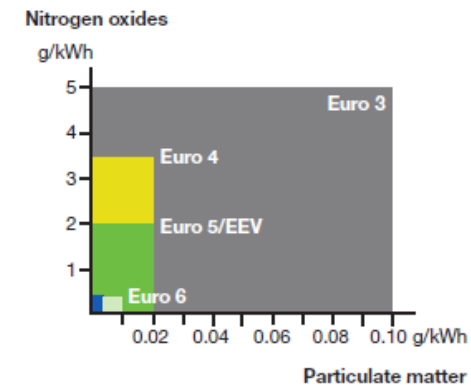
- Alla komponenter som kan påverka emissioner måste diagnostiseras.
- Till exempel, i bränslesystemet måste ett hål med 0.5 mm diameter detekteras (från 2000 i OBD-II)

3

- *Diagnos i bilar*
 - *Introduktion och OBDII*
 - *Selective Catalytic Reduction (SCR)*
 - *Katalysator och λ -sensorer*
 - *Purge-system*
 - *Misständning*
- *Modellbaserad diagnos - generell metodik*

2

Vad är Euro 6?



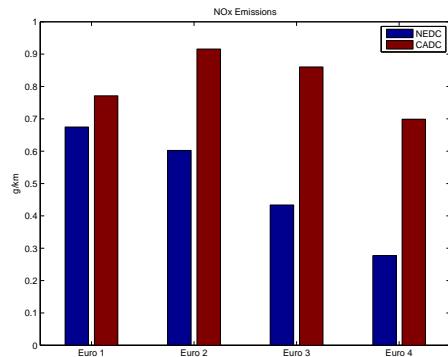
- Euro 6 senaste europeiska lagstiftningen för dieselemmissioner
- Nya testprocedurer
- Striktare regler för OBD, speciellt för efterbehandlingssystemet

4

Certifieringscykler och verkligheten

European federation for transport and environment (2006)

In fact, NO_x emissions have not seen a significant reduction in the last 13 years. They say part of the reason is that the test cycle relates to a much smaller area of the engine than true road driving conditions. This has allowed manufacturers to tune engines to reduce NO_x only on the test cycle, a practice known as cycle beating.



- NEDC - certifieringscykel
- CACD - verklighetsnära cykel

5

Varför "On-Board Diagnosis"?

- Mekanikern kan läsa ut den lagrade felkoden och direkt byta ut den felaktiga komponenten. Detta ger effektiv och snabbare service.
- Om ett fel inträffar under körning kan diagnossystemet, efter att ett fel har detekterats, ändra styrstrategi till **limp home**.
- Mer generellt, den felaktiga komponenten kan exkluderas ur reglersystemet och styrssystemet kan använda en suboptimal styrstrategi tills bilen kan bli reparerad.

6

- Diagnossystemet kan upplysa föraren om fel som kan skada motorn så att fordonet kan köras till verkstaden i god tid innan skadan är skedd. Detta är ett sätt att öka tillförlitligheten.
- Ett fel kan ofta ge ökade emissioner av skadliga avgaser som kan skada miljön.

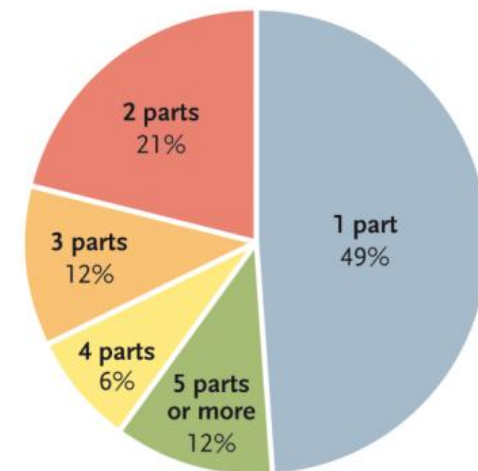
Exempel:

In 1990, the Environmental Protection Agency in USA estimated that 60% of the total tailpipe hydro-carbon emissions from light-duty vehicles, originated from 20% of the vehicles with seriously malfunctioning emission control systems. It is important that such faults are detected so that the car can be repaired as quickly as possible.

I huvudsak **miljö** men också tillgänglighet och tillförlitlighet.

7

Diagnos i fordon, inte bara lagkrav och on-board



Motorn kan få service beroende på dess status istället för enligt ett givet serviceschema, och man kan därmed minska kostnaderna.

8

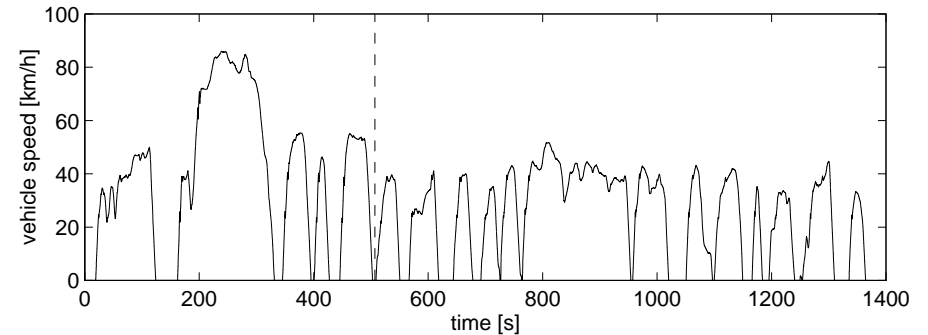
- En lampa i instrumentpanelen, Malfunction Indicator Light (MIL) måste tändas om det uppstår ett fel som ge emissioner som ligger 50% över gränserna. MIL skall när den är tänd visa frasen "Check Engine" or "Service Engine Soon".
- Standarder: *scantool*, kontakter, kommunikation, och protokoll som används för att överföra data mellan diagnosystemet och mekanikern.
- Kodning: Programvaran och data måste krypteras för att hindra att obehöriga får tillträde till mjukvaran i styrsystemet.

9

Körcykler och certifiering

- FTP 75
 - The US federal test procedure FTP 75 for emission and diagnostic tests.
 - Tre faser.
 - Kombinerar med SHED (Sealed Housing for Evaporative Determination).
-
- När ett fel detekteras, måste MIL tändas och en felkod lagras i styrenheten senast vid slutet av nästa körcykel under vilken händelsen inträffade.
 - *Diagnostic Trouble Code (DTC)*
 - *Freeze frame data*
 - Freeze frame data – är all information som är tillgänglig om nuvarande status på motorn och reglersystemet.
 - Efter tre konsekutiva felfria körcykler, skall MIL lampan släckas.
 - Felkoden och freeze frame raderas efter 40 felfria körcykler.

11



Körcykel

definieras som start av motor, stopp av motor, och all körning mellan dessa händelser.

10

Krav

- Alla givare och ställdon som är kopplade till motorns styrsystem.
- Givare och ställdon måste kollas mot deras gränsvärden.
- Värdena måste vara konsistenta med varandra.
- Dessutom måste ställdonen kontrolleras med aktiva tester.
- Exempel: Massflödesgivare, tryckgivare, varvtalsgivare, och gasspjäll.
- Även: Detaljerade specifikationer för katalysatorer, luftkonditioneringsystemets kylmedium, bränslesystemet, och EGR systemet.
- Och 5 diagnoskomponenter härnäst ...

<http://www.arb.ca.gov/msprog/obdprog/obdregs.htm>

12

- *Diagnos i bilar*
 - *Introduktion och OBDII*
 - *Selective Catalytic Reduction (SCR)*
 - *Katalysator och λ -sensorer*
 - *Purge-system*
 - *Misständning*
- *Modellbaserad diagnos - generell metodik*

13

SCR-system, tank och doppvärmare



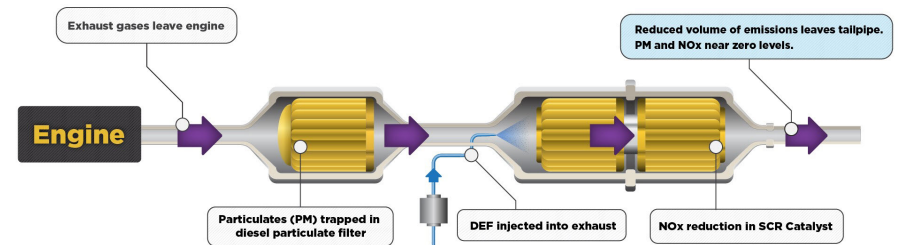
Urea kristalliseras vid $\approx -11^\circ$

15

SCR efterbehandling för att reducera NOx

- aktiv efterbehandling för att reducera NOx
- Urea injiceras för reaktion i SCR-katalysatorn
- NOx \rightarrow kväve, vatten och lite CO2

Diesel Emissions Control System



14

Diagnos of SCR-system

Komponentövervakning

- Injektorer
- Temperatursensorer
- NOx-sensor

Manipulationsdetektering

- Utspädning av Urea (\Rightarrow mineralbeläggningar på injektorer)
- Återledning av Urea
- Elektrisk manipulation

Metodik

- Jämför mätt tanknivå med predikterad
- Titta på uppvärmningsprofiler för temperatursensorerna
- Prediktera NOx och jämför med uppmätta nivåer

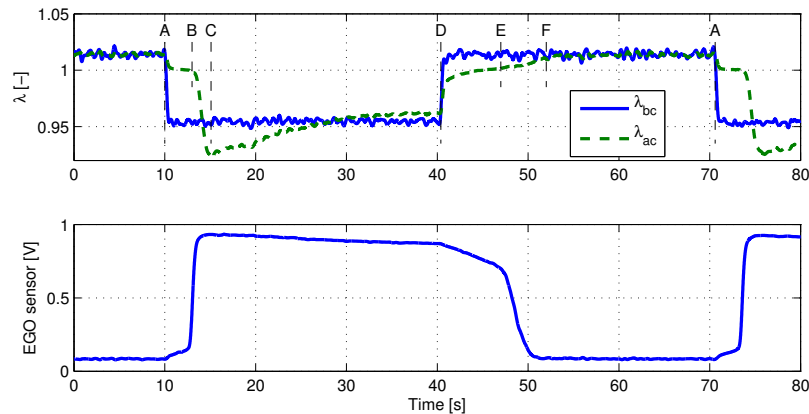
16



17

Lambda-sensorerna

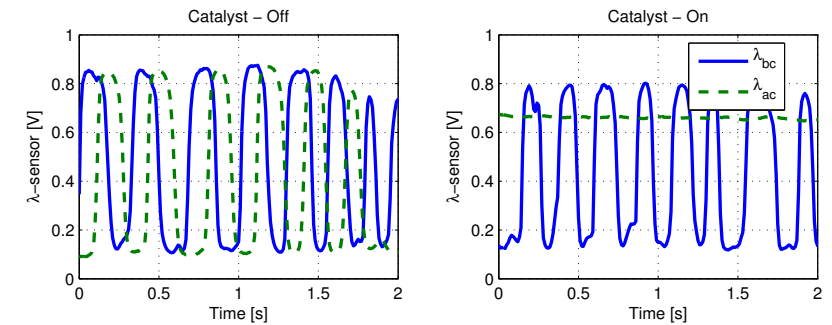
- En förändring i tidskonstanten eller en offset i lambda-sensorn måste detekteras.
- Detta görs genom att studera frekvensen, jämföra sensorerna, samt genom att lägga på stegförändringar och studera stegsvaret.



19

Katalysatorövervakning

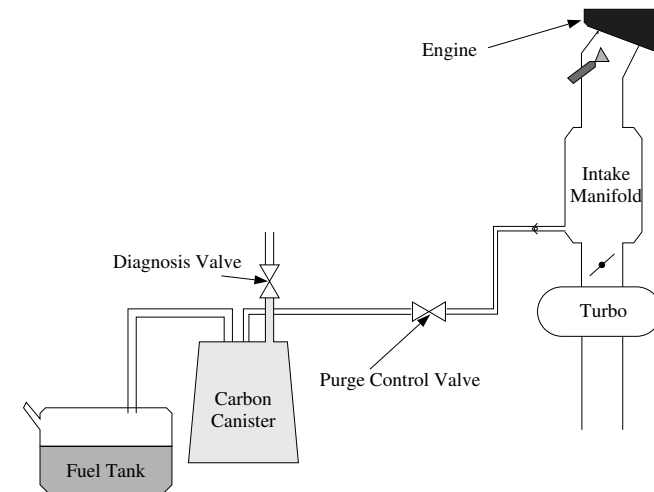
- Om effektiviteten hos katalysatorn går under 60%, måste diagnossystemet indikera ett fel.
- Dagens teknik förlitar sig på två lambda-sensorer.
- Variationerna, på grund av oscillationen som är inducerad av styrsystemet, i lambda-sensorn före katalysatorn skall inte finnas i lambda-sensorn efter katalysatorn.



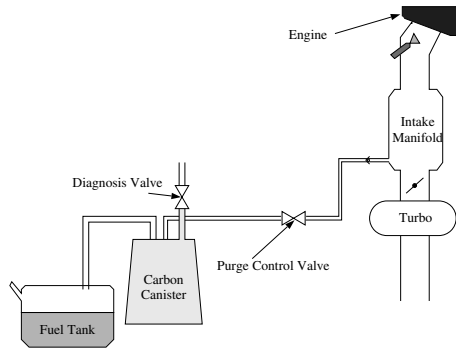
18

Purge-systemet

- Diagnos systemet måste kunna detektera felaktiga ventiler och även läckage i bränsletanken.
- Tekniken som används här är baserad på aktiva tester.



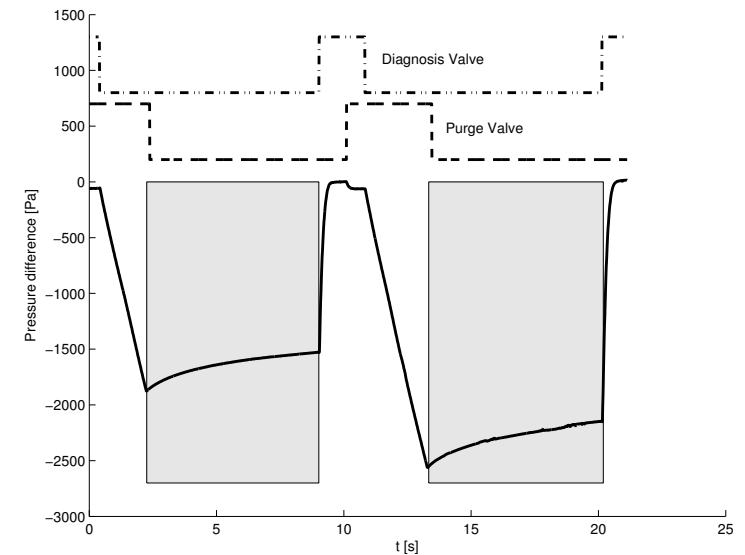
20



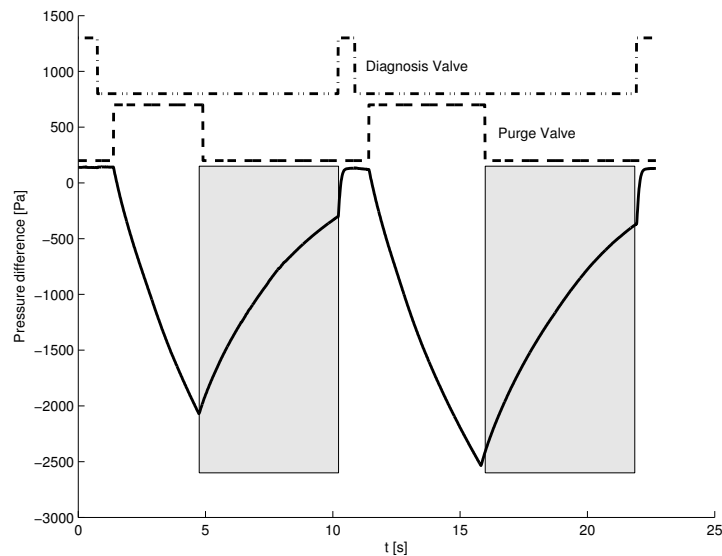
The OBDII system shall detect an evaporative system malfunction when the complete evaporative contains a leak or leaks that cumulatively are greater than or equal to a leak caused by a 0.040 diameter orifice.

- California Air Resource Board, OBDII regulations, section 1968.2, Title 13.

21

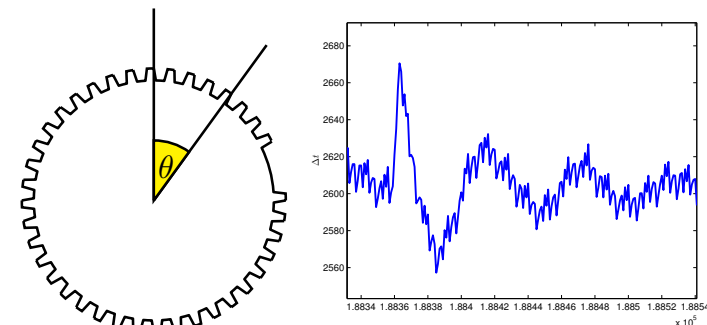


22



23

- Viktig för att den (snabbt) kan skada katalysatorn, ojämn motorgång
- Vid misfire måste MIL blinka
- Diagnossystemet måste kunna detektera ett enskilt misfire och bestämma cylindern
- Teknik är i huvudsak signalbehandling av varvtalssignalen, även accelerometer eller jonström kan användas



24

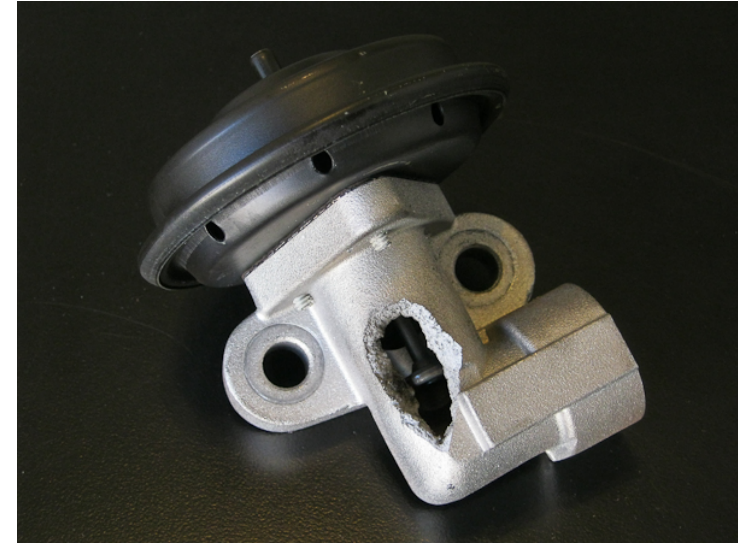
Konsekvens av (kraftig) misständning



from <http://www.pawlikautomotive.com/>

25

Konsekvens av (kraftig) misständning

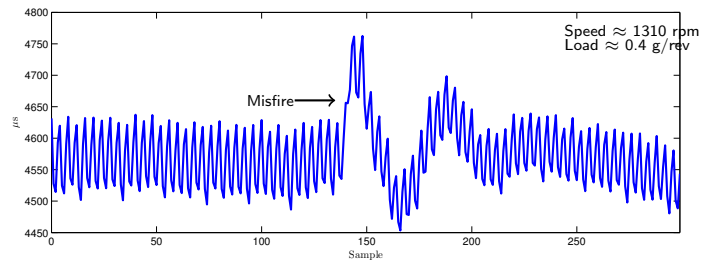


from <http://www.pawlikautomotive.com/>

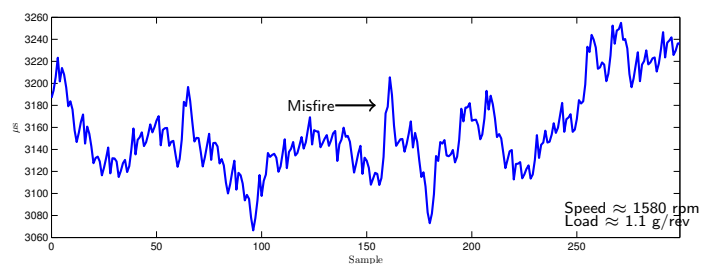
26

Misständning, mätdata

Varm motor

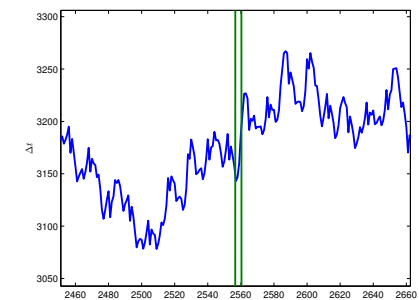
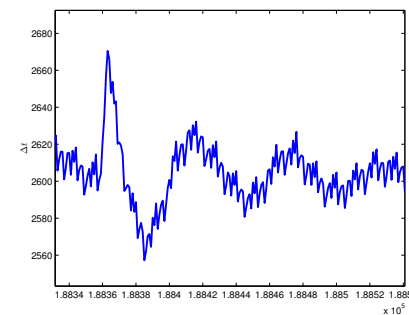


Kall start och låg last



27

Misständning, forts.



Enkel punkt:

- mitt i varvtalsområdet
- ej låg last

Svår punkt:

- kallstart
- långsam förbränning
- lågt genererat moment
- ojämn gång

28

Enkel momentskattare

Med

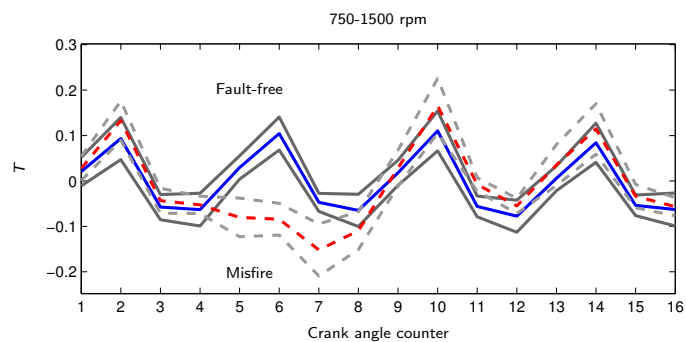
$$J \frac{d\omega}{dt} = T$$

samt

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = \frac{d\omega}{d\theta} \omega = \frac{1}{2} \frac{d}{d\theta} (\omega^2)$$

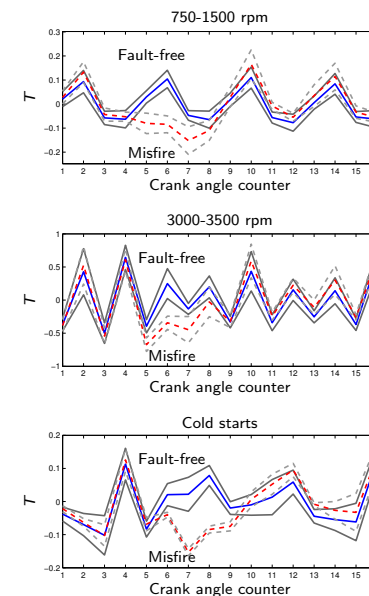
så är en enkel momentskattare

$$T \approx \frac{J}{2\Delta\theta} (\omega^2[\theta + \Delta\theta] - \omega^2[\theta])$$



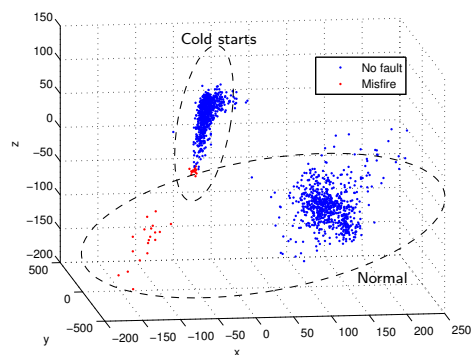
29

Detektion av misfire, 6-cylindrig motor



30

Momentgenereringen starkt arbetspunktsberoende



Exempel på larmsignal

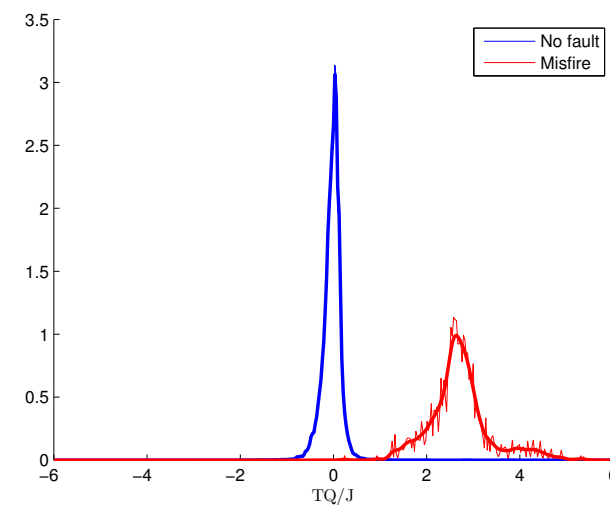
$$r = \sum_i^m \alpha_i T_i,$$

där T_i är skattat moment vid olika positioner i cykeln.

31

Misståndning, forts.

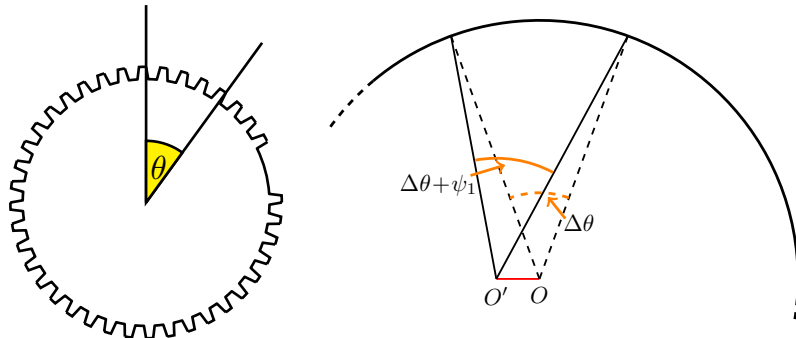
Skapa larmsignal som med stor sannolikhet detekterar alla misfire samtidigt som den inte larmar i onödan



32

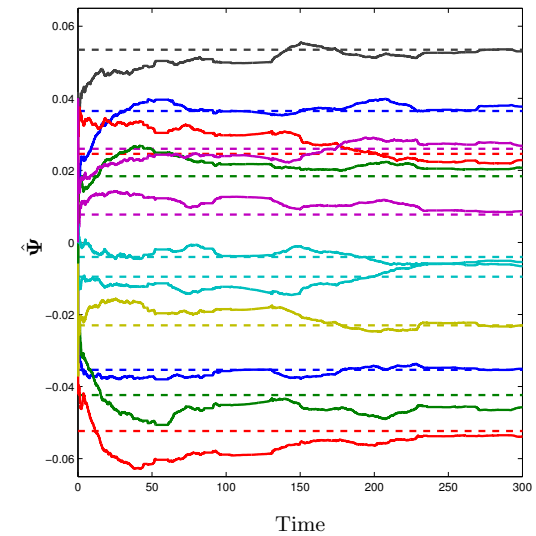
Kompensering för fel i varvtalssignalen

- Små vinkelfel för hålen ger signifikant förändring i varvtalssignalen
- Lite excentriskt monterat svänghjul ger motsvarande förändringar
- Vinkelfel så små som 0.01° kan öka falsklarmen från 0.01% till över 6% i svåra fall.



33

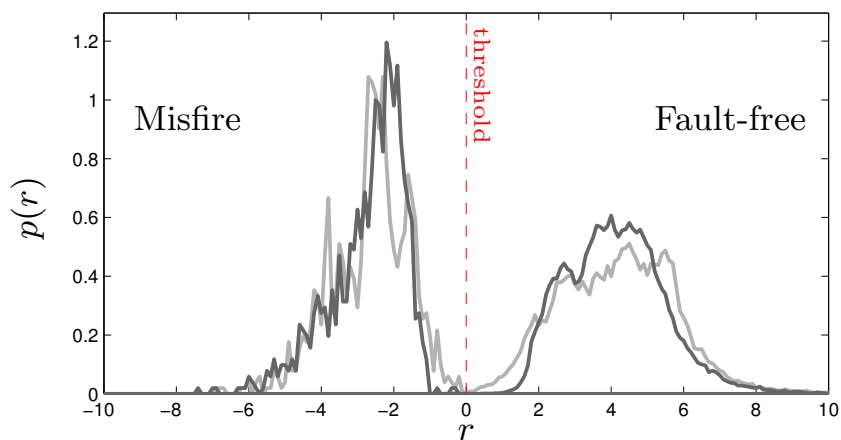
Estimering av vinkelfel i varvtalssignalen



$360/30 = 12$ olika vinkelfel

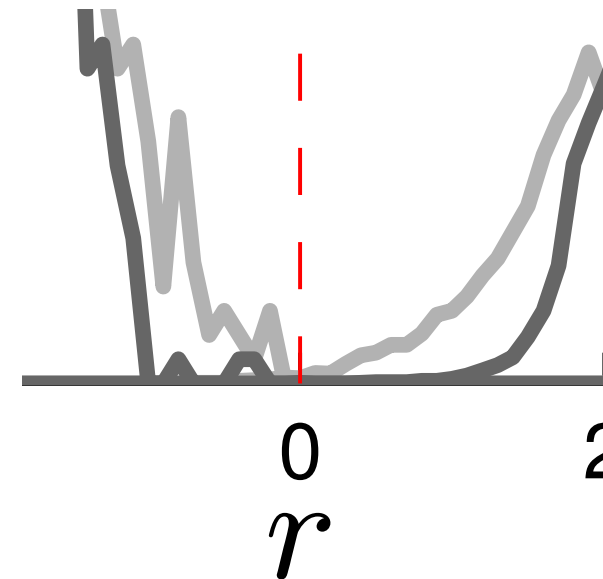
34

Effekt av vinkelfelskompensering



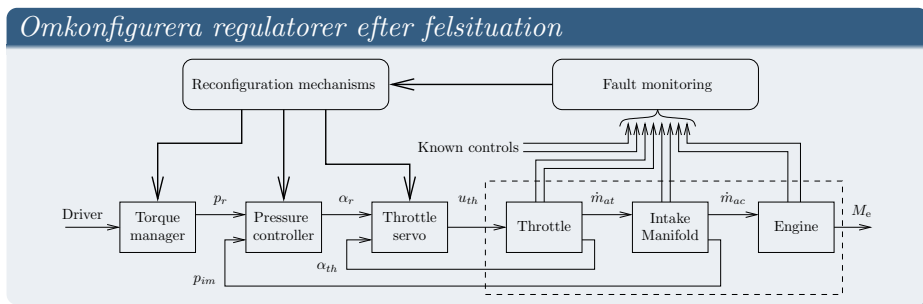
35

Effekt av vinkelfelskompensering, zoom



36

- OBD-II – huvudidén
- Emissioner
- Körcykel
- MIL
- DTC
- Freeze frame data
- Misfire, katalysatorövervakning, λ -sensorerna, purgesystemet



37

- OBD
 - övervakning av emissionsrelaterade komponenter och funktioner
 - starkt reglerat
 - litet driv från tillverkar att uppnå annat än vad som måste uppnås
 - och helst inte ens det ...
- Annan fordonsdiagnostik och nya tjänster
 - säkerhet
 - autonomi
 - nya komponenter, hybridisering
 - nya affärsmodeller inom tunga fordon
 - ▶ sälj tillgänglighet
 - ▶ fleet management
 - ▶ individbaserade underhållsplaner, Condition Based Maintenance (CBM)
 - service är ingen liten marknad, gör den mer effektiv
 - vill inte blanda OBD och annan (diagnos-)funktionalitet. Emissionsklassas funktionerna så skall de certifieras
 - historiska data, data mining och machine learning (statistik), AI-metoder, ...

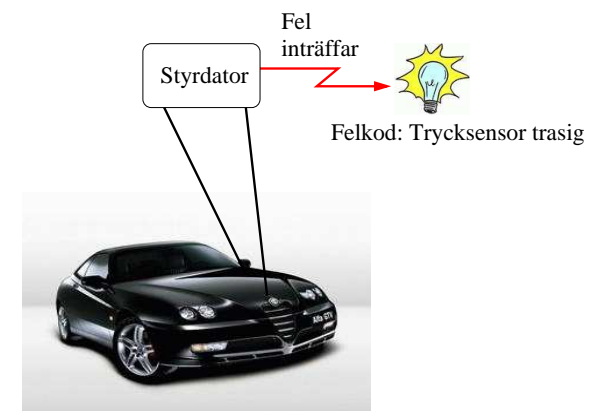
38

- *Diagnos i bilar*
 - *Introduktion och OBDII*
 - *Selective Catalytic Reduction (SCR)*
 - *Katalysator och λ -sensorer*
 - *Purge-system*
 - *Misständning*
- *Modellbaserad diagnos - generell metodik*

39

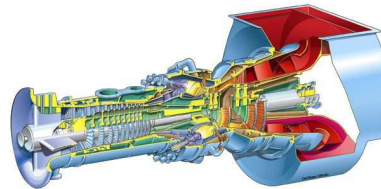
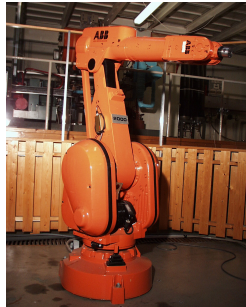
Diagnos är att automatiskt, och helst under normal drift,

- **detektera** fel.
- (ibland) **isolera** fel, dvs. peka ut vilken komponent som är trasig.



40

Varför diagnos i andra tillämpningar?



41

CM & D Financial Impact

Process Equipment Maintenance costs

From a report by DuPont¹...



In many plants, maintenance budget is about 2/3 of annual net profit
Maintenance is today the largest single controllable expenditure in a plant

From study by Dow Chemicals²



Cost of unnecessary maintenance about the same size as plant profit

From a study by ARC (November 2003)

Asset management activities (checking, troubleshooting, calibration, repairs) are one of the leading time consuming activities. 80% of the survey see it as important /extremely important to reduce it



Maintenance costs represent a huge savings opportunity!

©ABB CM&D

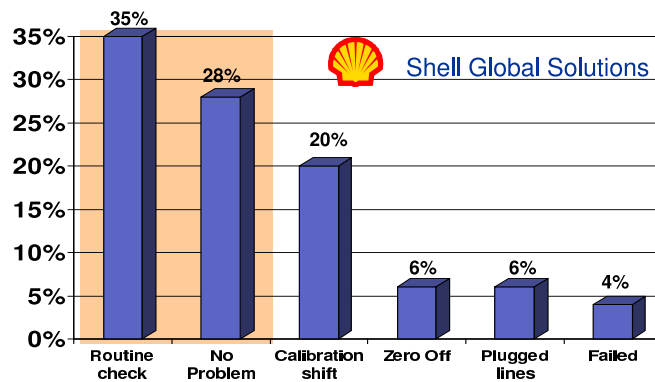
1 3rd. largest Chemical Company worldwide with 27 Billion USD in sales, 81,000 Employees and 12.5% Sales growth in 1 year
2 2nd largest Chemical Company worldwide with 32 Billion USD in sales, 46,000 Employees, and 18% Sales growth in 1 year
Source: Hoovers.com October 21, 2004

42

CM & D Financial Impact

Instruments Preventive Maintenance

Potential for Predictive Maintenance with pressure transmitters



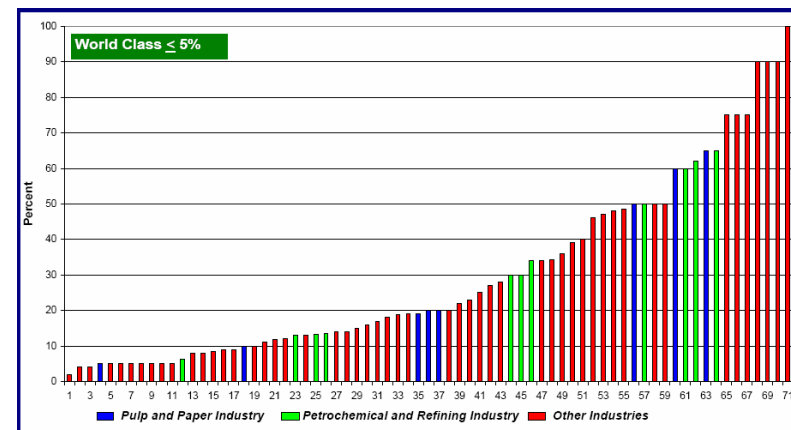
63% of instrument maintenance labor results in no action taken = waste of resources

©ABB CM&D

43

CM & D Financial Impact

Unplanned maintenance Benchmarks



ABB's Consulting Services data source

©ABB CM&D

44

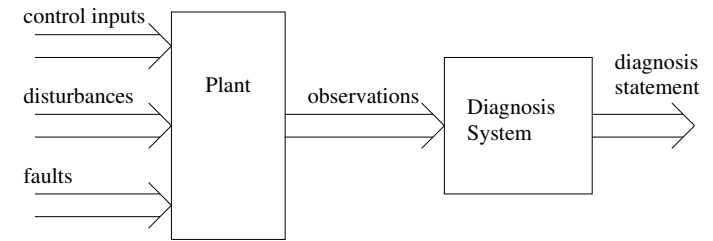
Ett svårt problem

- En ansenlig del av styrsystemskoden är diagnoskod (mer än 50% är vanligt)
- Något som ofta görs efteråt och i "mån av tid" vill man nu göra parallellt med övrig konstruktion.
- Konstruktion för diagnos (ex.vis sensorplacering, val av sensorer etc.)

Metodik krävs men saknas!

45

Vad är diagnos?



Diagnos

Givet observationer, en diagnos är en utsaga om komponenternas tillstånd som kan förklara observerat beteende.

Diagnossystem

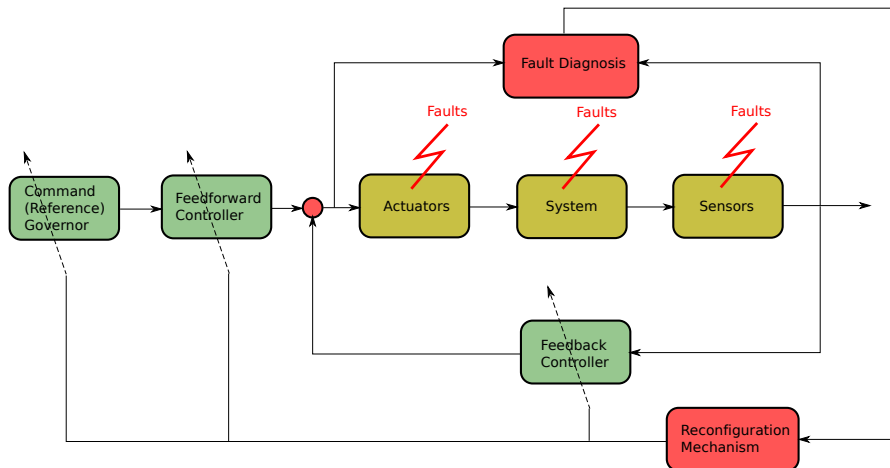
Givet observationer: Hitta alla diagnoser.

$$\text{alla diagnoser} = f(\text{observationer})$$

Feltolerant reglering

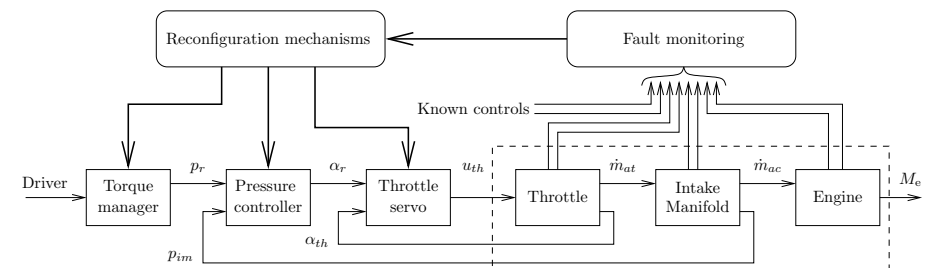
46

Feltolerant reglering



47

Omkonfigurera regulatorer efter felsituation



48

- hårdvaruredundans
- tröskling av mätsignaler (limit-checking)
- hastighetsbegränsning av fysikaliska storheter (rate-limit)
- ofta olika begränsningar i olika arbetsområden

Traditionell diagnos är modellbaserad diagnos. Bara med väldigt enkla modeller.

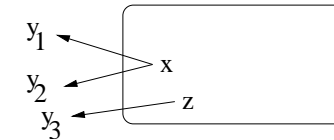
Med mer avancerade modeller så kan man öka diagnosprestandan: snabbare detektion, mer exakt felisolering, färre falsklarm etc. Allt till priset av mer modellarbete och svårare designuppgifter.

Möjligheten finns också att minska antalet sensorer, både för reglering och diagnos.

49

Förutsättningen för all diagnos är **redundans** som kan tillhandahållas av:

- Extra hårdvara, exempelvis flera sensorer som mäter samma storhet
- Modeller!



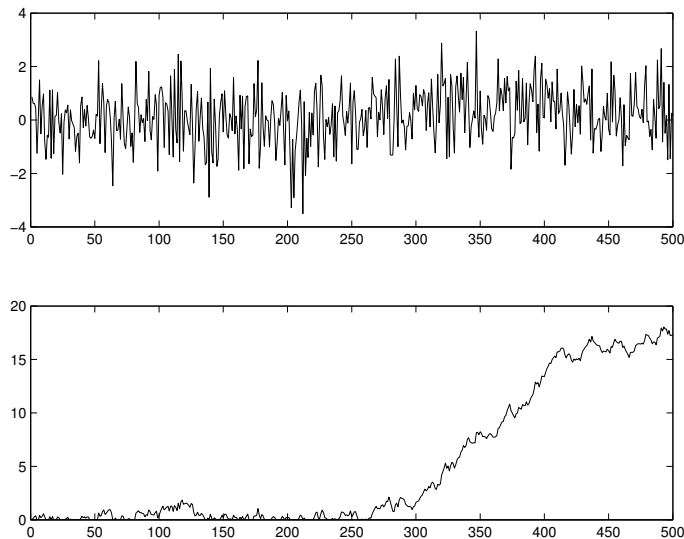
$$r_1 = y_1 - y_2$$

$$r_2 = y_1 - f(y_3)$$

$$r_3 = y_2 - f(y_3)$$

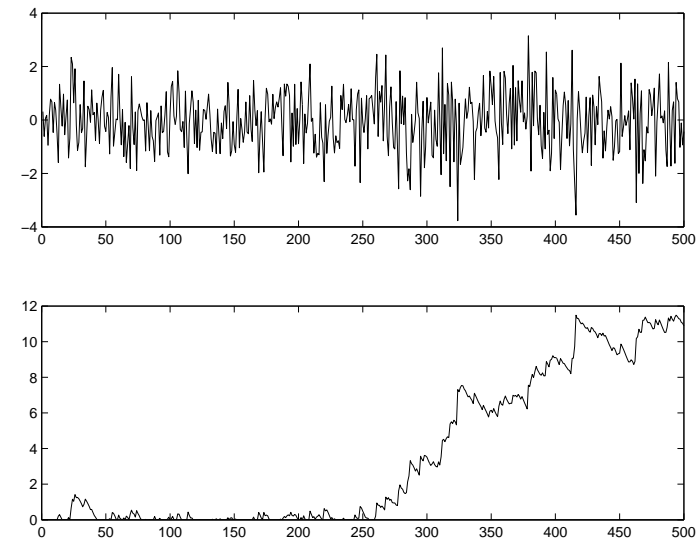
50

Var byter mätsignalen nivå?



51

Var byter mätsignalen svängningsfrekvens?



52

$$y_1 = 2u$$

$$y_2 = 4u + 1$$

Antag y_1 , y_2 och u är kända, då kan tre residualer bildas

$$r_1 = y_1 - 2u, \quad r_2 = y_2 - 4u - 1, \quad r_3 = 2y_1 - y_2 + 1$$

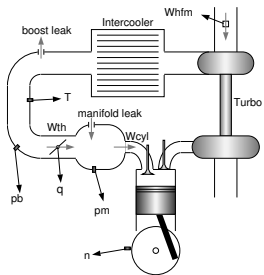
Alla är 0 då ekvationerna är uppfyllda, dvs. processen uppför sig som förväntat.

De tre residualerna reagerar olika på fel i sensorer och aktuatorer

⇒ Isolationsmöjligheter

	f_1	f_2	f_u
r_1	X		X
r_2		X	X
r_3	X	X	

Exempel på analytisk redundans i motorn



$$W_{cyl} = f_1(n, p_m)$$

$$W_{th} = f_2(\alpha, p_m, p_b)$$

Statistiskt så gäller att $W_{hfm} = W_{th} = W_{cyl}$ om allt fungerar.

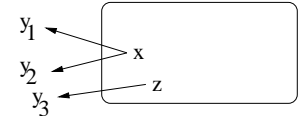
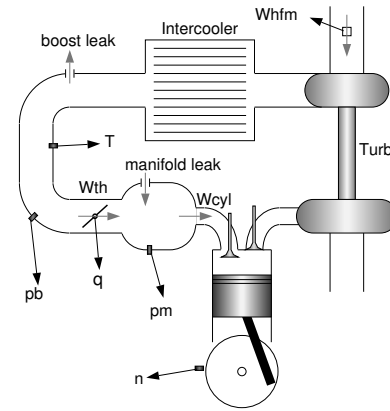
$$r_1 = W_{hfm} - W_{th} = W_{hfm} - f_2(\alpha, p_m, p_b)$$

$$r_2 = W_{hfm} - W_{cyl} = W_{hfm} - f_1(n, p_m)$$

$$r_3 = W_{cyl} - W_{th} = f_1(n, p_m) - f_2(\alpha, p_m, p_b)$$

Dessa är alla känsliga för olika fel ⇒ möjlighet till felisolering.

Exempel: Diagnos på en produktionsmotor



Samma tänk som för det enkla fallet, bara mer avancerade modeller

Lite olika typer av fel, kräver olika typer av modeller och därmed olika typer av signalbehandling.

Modellering

Samma typ av medelvärdesmodell som ni redan sett i kursen används även här. Tex. flödet förbi trotteln modelleras av

$$W_{th} = \frac{K_{th} p_{boost}}{\sqrt{T}} \Psi\left(\frac{p_{man}}{p_{boost}}\right)$$

där

$$\Psi\left(\frac{p_{man}}{p_{boost}}\right) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \left\{ \left(\frac{p_{man}}{p_{boost}}\right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_{man}}{p_{boost}}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right\}} & \text{om } \left(\frac{p_{man}}{p_{boost}}\right) \geq \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \\ \sqrt{\kappa \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}}} & \text{f.ö.} \end{cases}$$

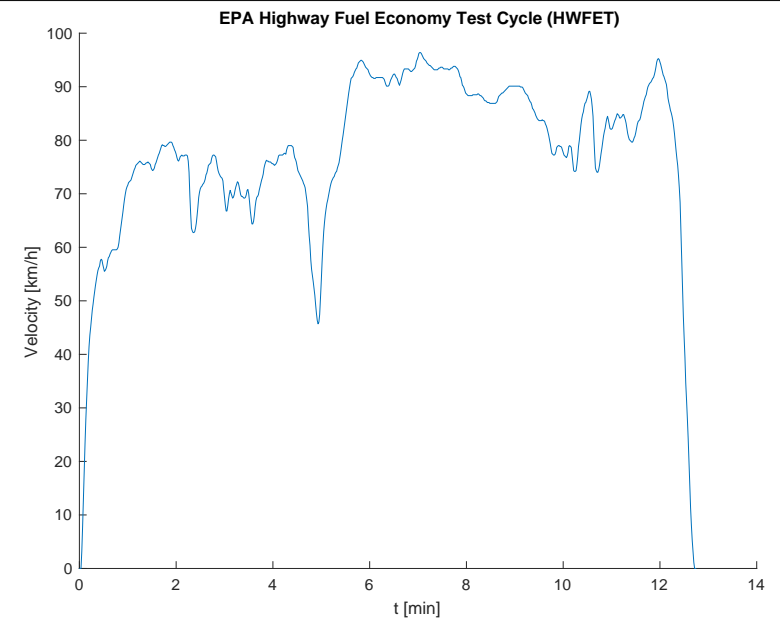
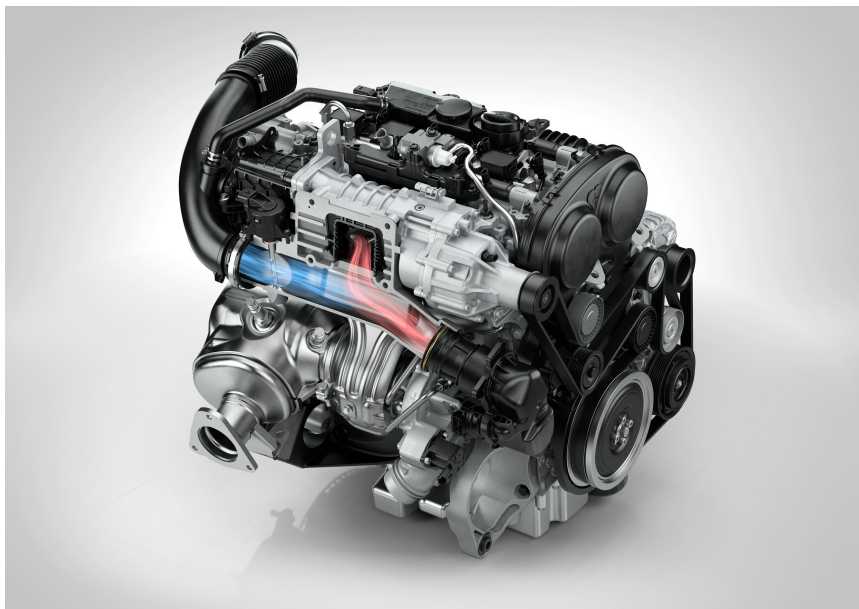
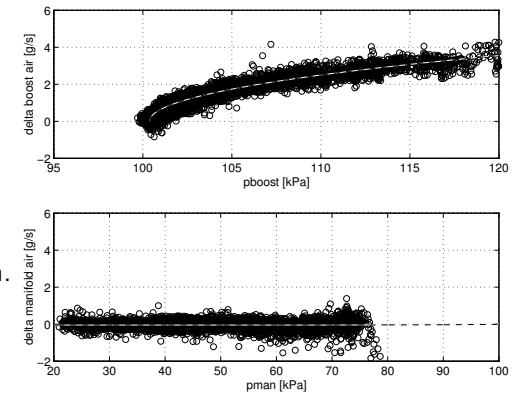


Inte bara felfritt fall behöver modelleras, även felen som ska detekteras och isoleras behöver modelleras.

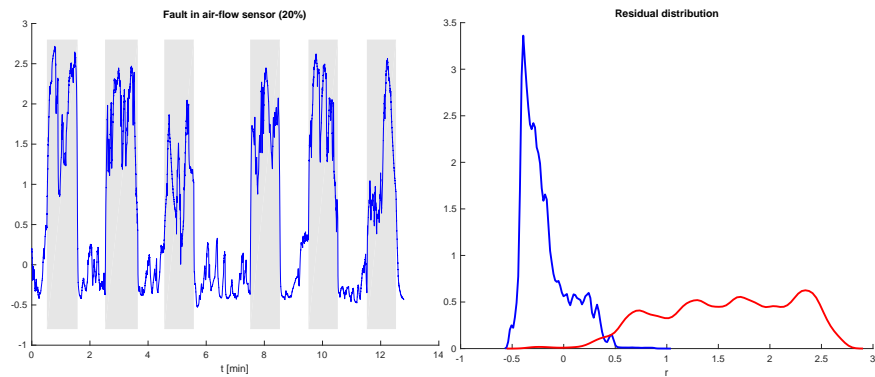
$$W_{boostLeak} = k_b \frac{p_b}{\sqrt{T}} \psi\left(\frac{p_{amb}}{p_b}\right)$$

$$W_{HFM} = W_{th} + W_{boostLeak}$$

där k_b är effektiv area hos läckan.

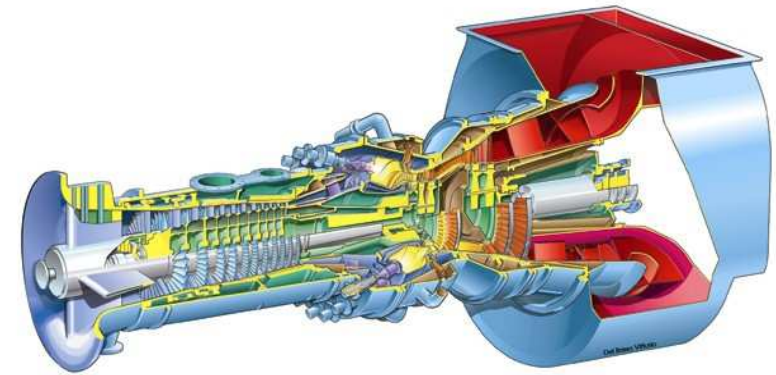


Exemple: Volvo-motor, residual vid 20% fel i massflödessensorn



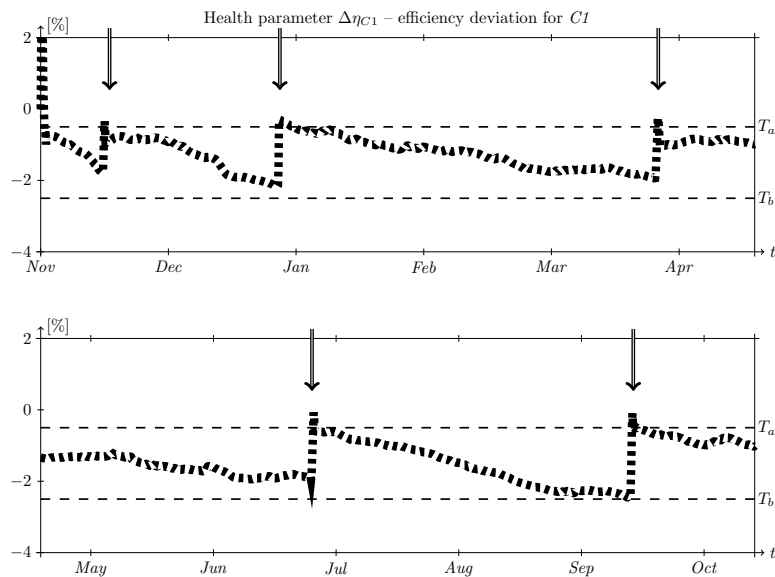
61

Övervakning av industriell gasturbin från Siemens



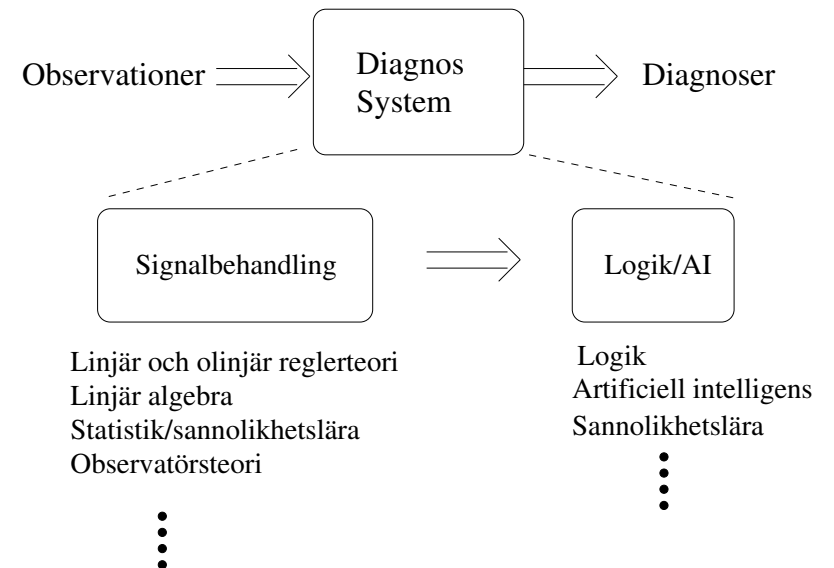
62

Övervakning av industriell gasturbin från Siemens



63

Överblick av ett diagnosystem



64

Om det låter intressant så rekommenderas vår kurs:

TSFS06, Diagnos och övervakning är en unik kurs i Sverige, inget annat lärosäte erbjuder en kurs helt inriktad mot diagnos.

- 6hp.
- Börjar i mars.
- Teoretisk och metodikinriktad.
- Använder kunskap från många olika ämnen, till exempel: reglerteknik/signalbehandling, statistik/sannolikhetslära, och logik/artificiell intelligens.
- Kurs inom ett mycket forskningsintensivt ämne.
- Kursinnehåll nära forskningsfronten.
- Många möjligheter till exjobb.

Erik Frisk

Fordonssystem
Institutionen för systemteknik
Linköpings universitet

7 december, 2016



Linköping University