

Fordonssystem

Fordon är idag datoriserad maskiner.

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

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

Lars Eriksson

1

Oktober 2007

Fordonssystem

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.
- Säkerhet är självklart en nyckelfråga.
- Körbarhet är viktigt för kunden.

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.

Lars Eriksson

2

Oktober 2007

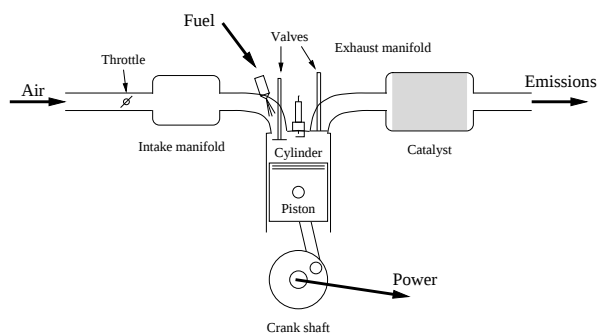
Fordonssystem

Fö 14: Motor – Grunder

Motor

Luft och bränsle

arbete och emissioner



Lars Eriksson

3

Oktober 2007

Motor – Begrepp

Bromsat (moment, effekt, MEP, ...)

Indikerat (moment, effekt, MEP, ...), brutto och netto (gross or net)

Formel för $V = V(\theta)$

Fyllnadsgrad (volumetric efficiency)

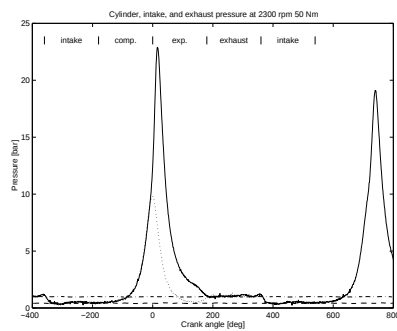
Fyrtaktscykeln - händelser

Fordonssystem

Fö 14: Motor – Grunder

Motor

Uppmätt indikordiagram – Cylindertryck som funktion av vevaxelvinkel θ



Hur skall vi analysera detta?

Lars Eriksson

5

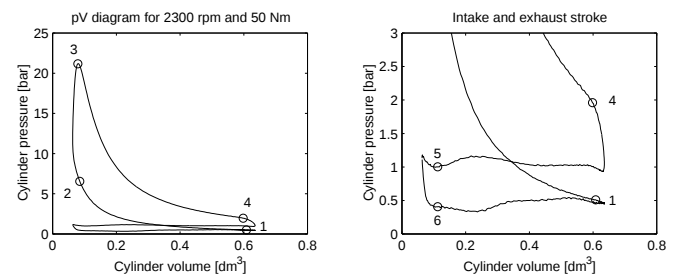
Oktober 2007

Fordonssystem

Fö 14: Motor – Grunder

Motor

Samma indikordiagram omräknat till pV-diagram



Lars Eriksson

6

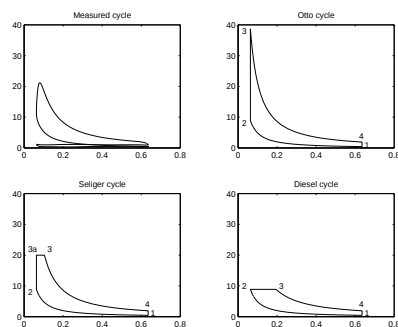
Oktober 2007

Fordonssystem

Fö 14: Motor – Grunder

Motor

Termodynamiska cykler som modell av uppmätt indikordiagram



Lars Eriksson

7

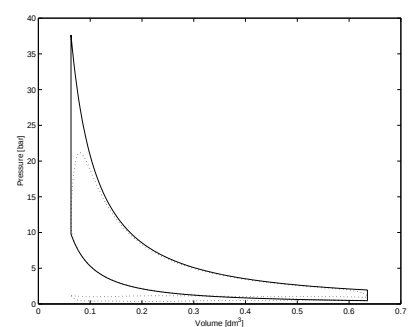
Oktober 2007

Fordonssystem

Fö 14: Motor – Grunder

Motor

Modellanpassning av Otto-cykel till uppmätt indikordiagram – Parametrar?



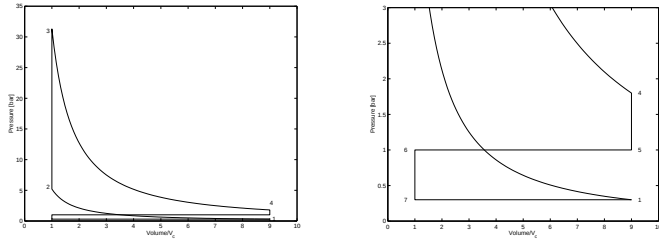
Lars Eriksson

8

Oktober 2007

Motor - Principer

Modell: Otto-cykel med pumpförluster.



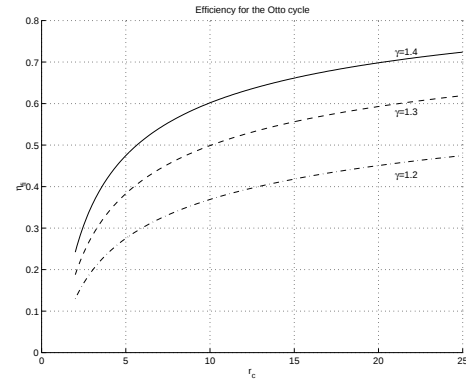
Dellast (throttled);
 $p_i = 0.3$ bar och $p_e = 1$ bar.

Lars Eriksson

9

Oktober 2007

Motor - Principer



Lars Eriksson

10

Oktober 2007

Motor - Principer

Diesel Cycle or constant pressure cycle

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

Seliger Cycle or limited pressure cycle

$$\eta_{f,i} = 1 - \frac{1}{r_c^{\gamma-1}} \frac{\alpha\beta^{\gamma} - 1}{\alpha(\beta - 1)\gamma + \alpha - 1} \quad (2)$$

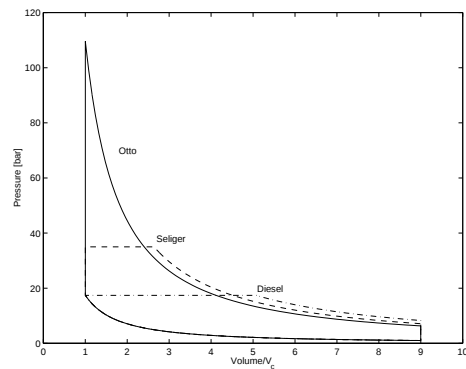
Notera att Otto ($\beta = 1$) and Diesel ($\alpha = 1$) cyklerna är specialfall av Seliger cyklern.

Lars Eriksson

11

Oktober 2007

Motor - Principer



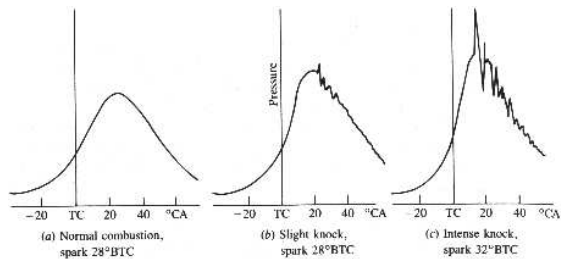
Lars Eriksson

12

Oktober 2007

Motor - Principer

Knack



Oktantal

Lars Eriksson

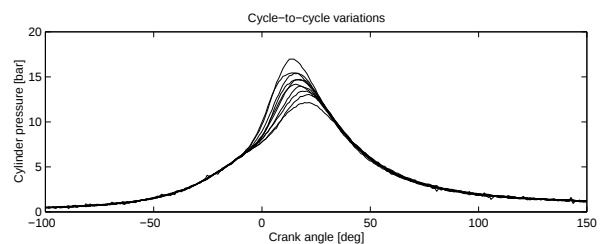
13

Oktober 2007

Motor - Principer

Cykel-till-cykel-variationer

Tio cykler (stationaritét)



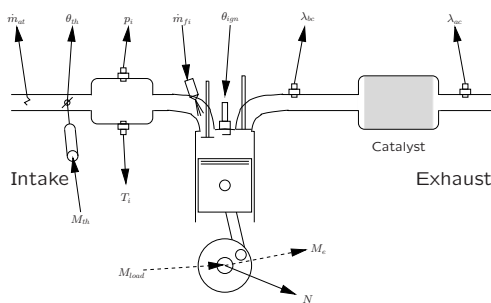
Lars Eriksson

14

Oktober 2007

Motor - Modellering

Ett sensor - aktuator perspektiv: Samband mellan sensorer och aktuatorer, MVEM.



Lars Eriksson

15

Oktober 2007

Motor - Modellering

Gasspjäll (trottel) - Rörelsedynamik

$$\ddot{\alpha} + a \cdot \dot{\alpha} = b \cdot (M_{th} - M_{air}) \quad (3)$$

Luftflöde förbi gasspjäll (trottel)

$$\dot{m}_{at}(\alpha, p_a, p_i, T_a) = \frac{p_a}{\sqrt{RT_a}} A_{th}(\alpha) C_{th}(\alpha) \Psi\left(\frac{p_i}{p_a}\right) \quad (4)$$

Luftflöde in i cylindern

$$\dot{m}_{ac}(N, p_i, T_i) = \eta_{vol}(N, p_i) \frac{V_d N p_i}{2 R T_i} \quad (5)$$

Lars Eriksson

16

Oktober 2007

Motor - Modellering

Tryckkuppbyggnad i insuget

$$\frac{dp_i}{dt} = \frac{RT_i}{V_i} (\dot{m}_{at}(\alpha, p_a, p_i, T_a) - \dot{m}_{ac}(N, p_i, T_i)) \quad (6)$$

Insprutad bränslemängd – flöde

$$\dot{m}_{fi} = N \dot{m}_{fi} = N c (t_{inj} - t_0(u_{batt})) \quad (7)$$

Lars Eriksson

17

Oktober 2007

Fordonssystem

Fö 14: Motormodellering

Motor - Modellering

λ i cylindern

$$\lambda = \frac{\dot{m}_{ac}}{\dot{m}_{fc}} \frac{1}{(A/F)_s} \quad (10)$$

λ vid sensorn

$$\frac{d}{dt} \lambda_s(t) = \frac{1}{\tau_\lambda} (\lambda(t - \tau_d(n)) - \lambda_s(t)) \quad (11)$$

λ -mätning

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

Lars Eriksson

19

Oktober 2007

Fordonssystem

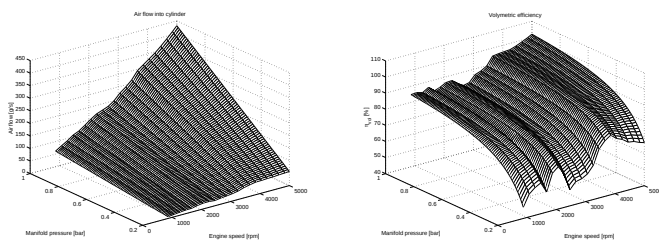
Fö 14: Motormodellering

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.



Lars Eriksson

21

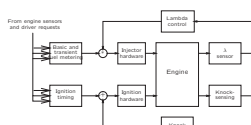
Oktober 2007

Fordonssystem

Fö 14: Motorreglering

De två huvudlooparna

Huvudlooparna i reglersystemet för bensinmotorer. Den översta är *lambda-regulatorn* och den nedersta är *tändnings regulatorn* loop.



Lars Eriksson

23

Oktober 2007

Motor - Modellering

Bränslefilmdynamik

$$\frac{dm_{fp}}{dt} = X \dot{m}_{fi} - \frac{1}{\tau_{fp}} m_{fp} \quad (8)$$

$$\dot{m}_{fc} = (1 - X) \dot{m}_{fi} + \frac{1}{\tau_{fp}} m_{fp} \quad (9)$$

Lars Eriksson

18

Oktober 2007

Fordonssystem

Fö 14: Motormodellering

Motor - Modellering

Vevaxeldynamik

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

$$\frac{dN}{dt} = C \cdot (M_e(p_i, N, \lambda) - M_{load}) \quad (12)$$

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

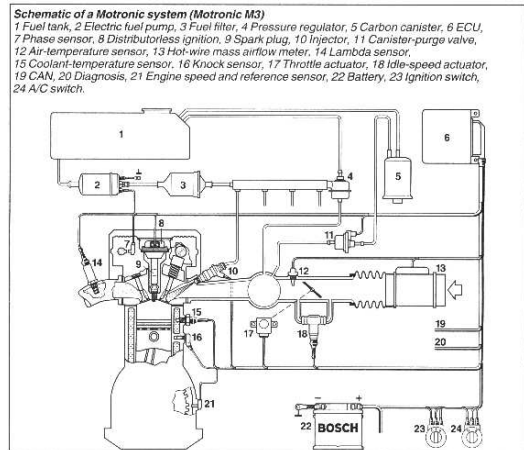
Lars Eriksson

20

Oktober 2007

Fordonssystem

Fö 14: Motorreglering



Lars Eriksson

22

Oktober 2007

Fordonssystem

Fö 14: Motorreglering

Motor - Reglering

Sammanfattningsvis viktigast:

Bränsle-luft-reglering – Emissioner (och last)

Tändningsreglering – Effektivitet eller bränsleförbrukning

Lars Eriksson

24

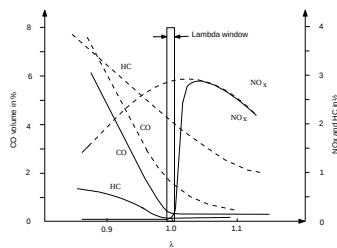
Oktober 2007

Motor - Principer

Avgasrening med trevägskatalysator - kräver λ -reglering

Stationär, absolut och transient reglering med noggrannhetskrav på %

Gasspjäll-bränsleinsprutnings-koordination



Lars Eriksson

25

Oktober 2007

Motor - Reglering

Regulatorstruktur som kombinerar återkoppling med framkoppling
Återkoppling – λ -regulatorn Framkoppling – observatör

Modellekvationerna till observatören

$$\begin{aligned} \frac{dp_i}{dt} &= \frac{RT_i}{V_i}(\dot{m}_{at}(\alpha, p_a, p_i, T_a) - \dot{m}_{ac}(N, p_i, T_i)) \\ \frac{dm_{fp}}{dt} &= X\dot{m}_{fi} - \frac{1}{\tau_{fp}}m_{fp} \end{aligned}$$

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

Lars Eriksson

27

Oktober 2007

Motor - Reglering

EGR-reglering

Kolkanisterstyrning (purge control)

Ytterligare bränslestyrningsfunktioner:

Uppfötning vid fullast

Uppfötning vid kallstart

Cylinderindividuell λ -reglering

Topphastighetsbegränsning

Motorbromshantering (overrun)

Lars Eriksson

29

Oktober 2007

Motor - Reglering

Tändningsreglering

Tändtidpunkten positionerar förbränningen relativt kolvrörelsen

PPP - Pressure Peak Position

$$x_b(\theta) = \frac{m_{burned}(\theta)}{m_{total}}$$

Mass fraction burned

MBT

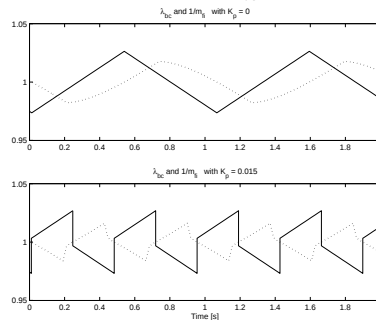
Lars Eriksson

31

Oktober 2007

Motor - Reglering

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



Återkoppling av λ_{bc} .

Analys: Beskrivande funktion eller Poincaré.

Designoptimering beror av katalysatoregenskaper.

Lars Eriksson

26

Oktober 2007

Motor - Reglering

Beräkning av insprutad bränslemängd från observatörsvärden

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

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

Lars Eriksson

28

Oktober 2007

Motor - Reglering

Tändningsreglering

- Tändenergi - Dwell time
- Tändtidpunkt - Ignition angle

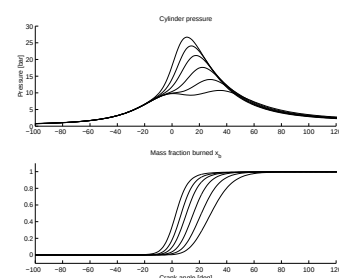
Lars Eriksson

30

Oktober 2007

Tändningstidpunkt ↔ Cylindertryck och MFB

Sex cylindertryck i arbetspunkten 2000 rpm 50 Nm.



Var finns tändtidpunkten?

Var finns PPP och $x_b = 0.5$?

Lars Eriksson

32

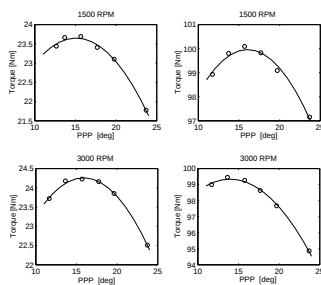
Oktober 2007

Tändningstidpunkt – Position för maxtrycket

Maxtrycksposition (Peak pressure position (PPP)) jämfört med producerat moment.

Maxtryckspositionen som motsvarar maximala momentet ligger mellan 15 – 16° ATDC för alla arbetspunkter.

Endast tändningstidpunkten är förändrad i de enskilda figurerna, bränslemängd, motorvarvtal och trottelvinkel hölls konstanta.

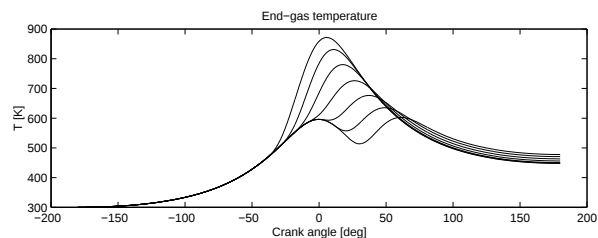


Lars Eriksson

33

Oktober 2007

Knackrisk som funktion av tändtidpunkt



Ändgastemperaturen för olika tändtidpunkter. Senare tändtidpunkt ger lägre temperaturer.

Knackreglering

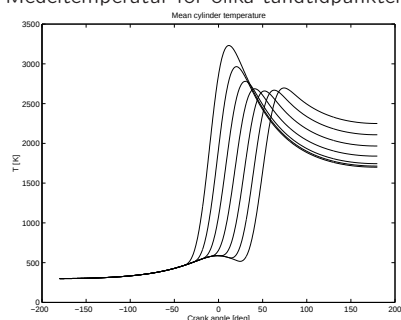
Lars Eriksson

34

Oktober 2007

Tändtidpunktens betydelse för emissionerna

Medeltemperatur för olika tändtidpunkter.



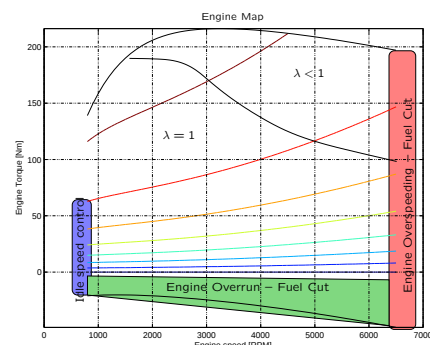
De höga maxtemperaturerna medför att mer NO_x bildas.

Lars Eriksson

35

Oktober 2007

Engine Control Modes – Switching



Lars Eriksson

36

Oktober 2007

Motor - Reglering

Sammanfattningsvis viktigast:

Bränsle-luft-reglering – Emissioner (och last)

Tändningsreglering – Effektivitet eller bränsleförbrukning

Lars Eriksson

37

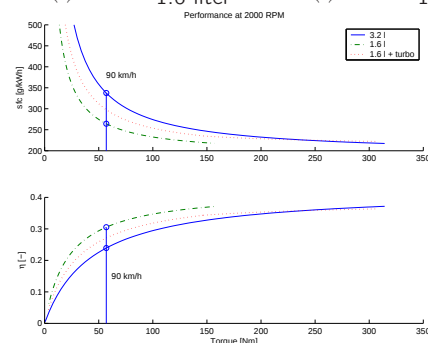
Oktober 2007

Nedskalning och överladdning

3.2 liter

1.6 liter

1.6 liter turbo

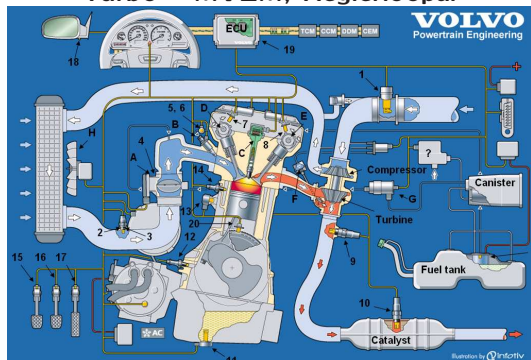


Lars Eriksson

38

Oktober 2007

Turbo – MVEM, Reglerloopar

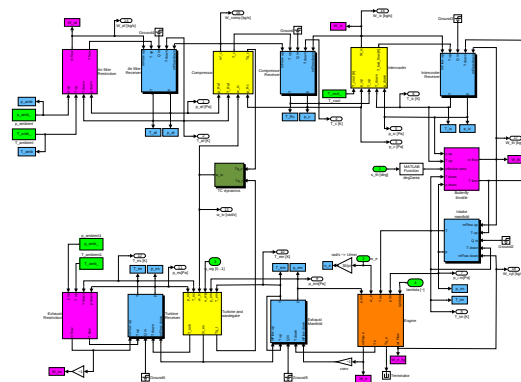


Lars Eriksson

39

Oktober 2007

Modelleringsmetodologi



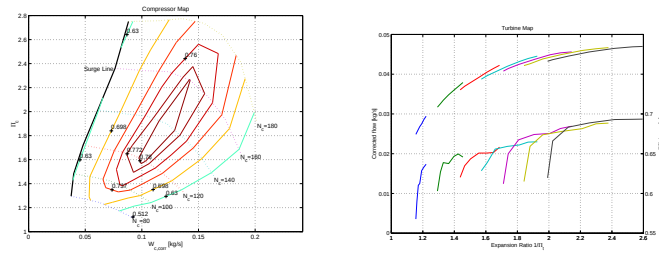
Lars Eriksson

40

Oktober 2007

Turbo – Prestanda och analys

Turbomappar



Lars Eriksson

41

Oktober 2007

Diesel- och bensinmotorer – De stora skillnaderna

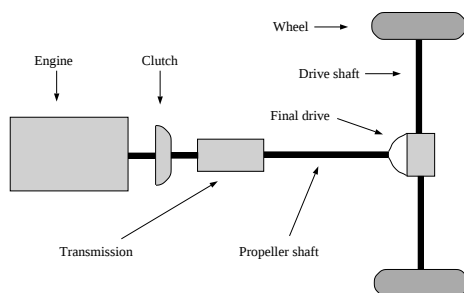
	Bensin (Spark Ignited)	Diesel (Compression Ignited)
Bränsle	Bensin	Diesel
Luftintag	Trottel	Raka rör
Bränsleinsprutning	I insugningssystemet	Direkt i cylindern
Laständring	Luftflöde p_i	Bränslemängd Q_{in}
Luft- & bränsleblandning	Homogen	Stratifierad
Förbränningsstart	Tändgnista	Självantänder
Förbränningsstyp	Förblandad	Diffusion
Emissioner	CO , HC och NO_x	NO_x och partiklar
	3-vägskatalysator	partikelfälla de-nox-katalysator
r_c	8–12	12–24
λ	0.5–1.5	>1.1

Lars Eriksson

43

Oktober 2007

Drivlina - Modellering



Lars Eriksson

45

Oktober 2007

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

Lars Eriksson

47

Oktober 2007

Grundekvationer för turbo

Vid stationäritet – 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

Sämrre effektivitet – Högre mottryck på avgassidan

Lars Eriksson

42

Oktober 2007

Motor - Avancerade koncept

Nya?

Överladdning (Super charging), nedskalning (analys).

Turbo (Wastegate, reglering)

Variable compression (v_c)

Jämförelse mellan Bensin och Dieselmotorn

Gasoline direct injection GDI

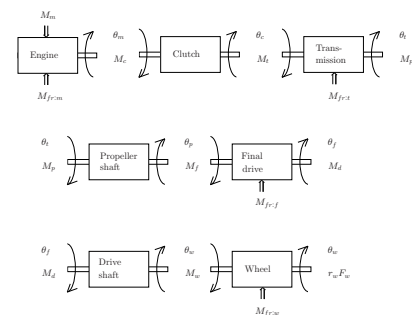
Styrssystem är basen

Lars Eriksson

44

Oktober 2007

Drivlina - Modellering



Lars Eriksson

46

Oktober 2007

Samverkan – Motor och fordon

Stel drivlina

Effektkonsumtion

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

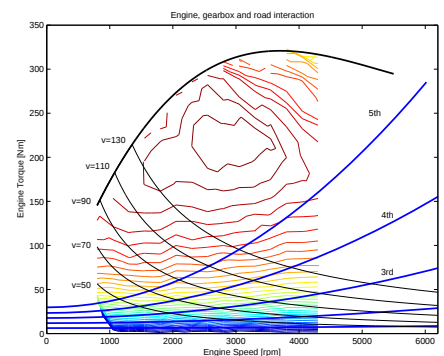
$$F_w(v) = f_0 + f_1 v^2$$

Effektproduktion

$$P_e = T_e \cdot \omega_e$$

Drivlineeffektivitet

$$P_e = \eta_t \cdot P_w$$



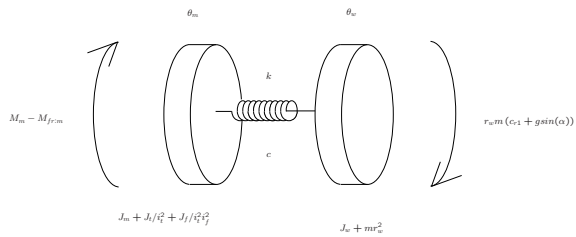
Lars Eriksson

48

Oktober 2007

Drivlina - Modellering

Utvädning av enkelt exempel – Torsionsmodellering



Lars Eriksson

49

Oktober 2007

Drivlina - Modellering

Fortsättning på **Enkelt exempel**

Illustrerar följande viktiga idéer:

- torsionsmodellering
- val av tillstånd

Lars Eriksson

50

Oktober 2007

Drivlina - Modellering

$$\begin{aligned}
 (J_m + J_f/i_f^2 + J_f/i_t^2 i_f^2) \ddot{\theta}_m &= M_m - M_{fr,m} - (b_t/i_t^2 + b_f/i_t^2 i_f^2) \dot{\theta}_m \\
 &\quad - k(\theta_m/i_t i_f - \theta_w)/i_t i_f \\
 &\quad - c(\dot{\theta}_m/i_t i_f - \dot{\theta}_w)/i_t i_f \\
 (J_w + m r_w^2) \ddot{\theta}_w &= k(\theta_m/i_t i_f - \theta_w) + c(\dot{\theta}_m/i_t i_f - \dot{\theta}_w) \\
 &\quad - (b_w + m c_{r2} r_w^2) \dot{\theta}_w - \frac{1}{2} c_w A_a \rho a r_w^3 \dot{\theta}_w^2 \\
 &\quad - r_w m (c_{r1} + g \sin(\alpha))
 \end{aligned}$$

The drive-shaft torsion, the engine speed, and the wheel speed are used as states according to

$$x_1 = \theta_m/i_t i_f - \theta_w, \quad x_2 = \dot{\theta}_m, \quad x_3 = \dot{\theta}_w$$

Lars Eriksson

51

Oktober 2007

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?

Lars Eriksson

53

Oktober 2007

Drivlina - Reglering

Mät signal

$$y = Cx + e$$

Olika sensorer

$$\begin{aligned}
 C_m &= (0 \ 1 \ 0) \\
 C_w &= (0 \ 0 \ 1)
 \end{aligned}$$

Performance output z

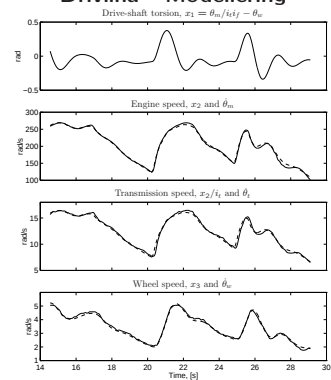
$$z = Mx + Du$$

Lars Eriksson

55

Oktober 2007

Drivlina - Modellering



Lars Eriksson

52

Oktober 2007

Drivlina - Reglering

Viktiga tillämpningar

- driveline speed control
- driveline control for gear shifting

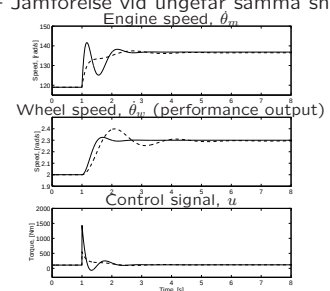
Lars Eriksson

54

Oktober 2007

Drivlina - Reglering

Aktiv dämpning – Jämförelse vid ungefär samma snabbhet.



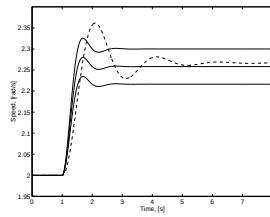
Lars Eriksson

56

Oktober 2007

Drivlina - Reglering

Man kan trimma stationära felet



Stationära felet skiljt från noll kan vara intressant för körkänslans skull.

Lars Eriksson

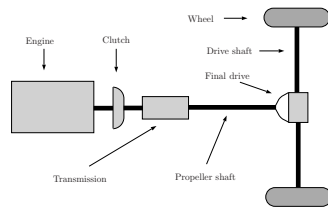
57

Oktober 2007

Drivlina - Reglering

Reglera moment

Drivlinereglering för växling

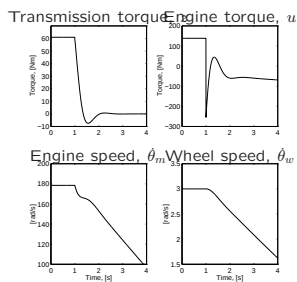


Lars Eriksson

59

Oktober 2007

Drivlina - Reglering



Reglering med moment-regulatorn för växlingskrit.

Vid $t=1$ s, kommanderas växling.

En realiserbar signal används.

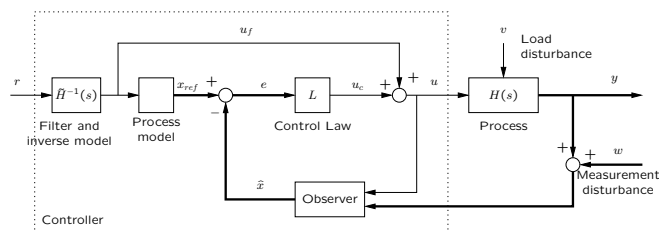
Momentet drivs till 0 med dämpade oscillationer.

Lars Eriksson

61

Oktober 2007

Model-Based Control



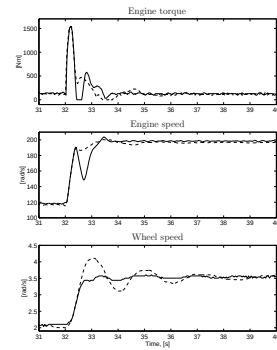
Lars Eriksson

63

Oktober 2007

Drivlina - Reglering

Fältförsök



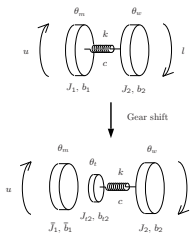
Lars Eriksson

58

Oktober 2007

Drivlina - Modellering

Neutral växel

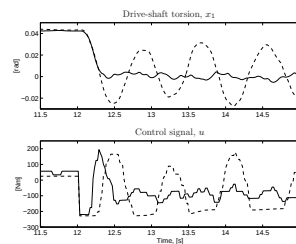


Lars Eriksson

60

Oktober 2007

Drivlina - Reglering



Reglersignal och torsion i drivaxlarna.

Växlingsregulatorn startar vid $t=12$ s och reglerar torsionen till 0.

Streckad: PI regulator som ger $x_1 = 0$ men med odämpade oscillationer.

Heldragen: Regulator med aktiv dämpning.

Lars Eriksson

62

Oktober 2007

Drivlina

Kommentar om kurskraven:

- Grundläggande modeller
- Räkningar på dessa
- Översikt

Se övningshäftet (detsamma som gamla tentauppgifter):

- Problem
- Kunskapsfrågor

Lars Eriksson

64

Oktober 2007

Diagnos

Lagkrav: Drivet av funktionalitet under fordonets hela livslängd.

Lagkrav: OBD

Lagkrav: OBD-II

MIL-lampa, DTC, Freeze frame data, SCANTOOL

Vad skall detekteras?

Fordonssystem

Kursutvärdering.

Enkelt formulär i samband med tentan.

Bra hjälp för oss i utvecklingsarbetet.

Fordonssystem

Tentamen

50 poäng

Betyg 3 – 23 poäng

Betyg 4 – 33 poäng

Betyg 5 – 43 poäng

Innehåll:

20-30 poäng - uppgifter som ligger nära vad som krävts för laborationerna.

10-20 poäng - andra uppgifter med anknytning till lektionerna.

10- poäng - från kompendiet och föreläsningar, speciellt sådant som betonats på föreläsningarna.

Lektionskompendiet är en sammanställning av gamla tentauppgifter.

Läshänvisningar till kompendiet på hemsidan.

Fordonssystem

Avslutningsvis:

Lycka till