

TSFS05 – Fordonssystem – Fö 7

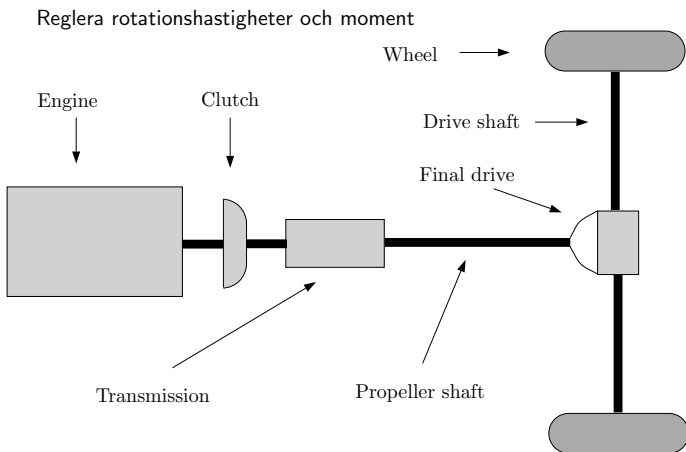
Drivlina – Reglering

Lars Eriksson - Kursansvarig

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

October 26, 2011

Drivlina - Reglering



Reglera rotationshastigheter och moment

Engine

Clutch

Wheel

Drive shaft

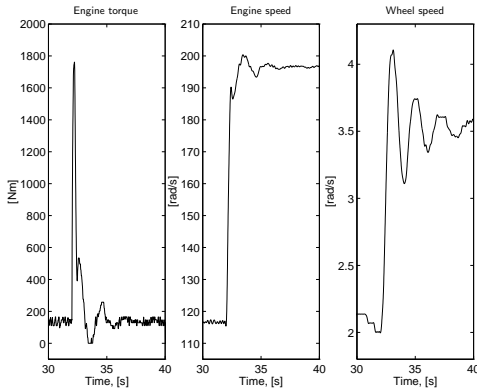
Final drive

Transmission

Propeller shaft

Varför är det inte enkelt?

–Mätningar illustrerar svårigheter



Stegsvar  $t=32$  s:  
 motorvarvtal-dämpat, hjulvarvtal-svängigt

Drivlina - Modellering

Modell

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

Tillstånd

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

Drivlina reglering

Drivlinereglering – Allmänna kommentarer

Motiverande exempel

Motiverande exempel med P-regulator

Drivlinereglering – Hastighetsreglering

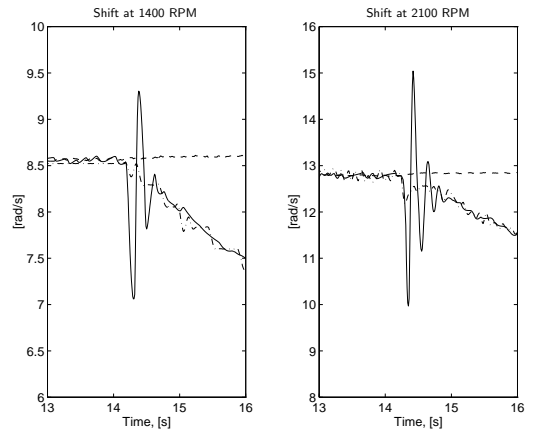
Drivlinereglering - Moment

Drivlina - Reglering

Viktiga tillämpningar

- ▶ driveline speed control (farthållning)
- ▶ driveline control for gear shifting ("automatväxling" med motorstyrning)
- ▶ driveline control for driveability in transients (drivline reglering for körbarhet i transienter)

En annan mätning



Från växelläge till neutralläge

Drivlina - Reglering

Mätning

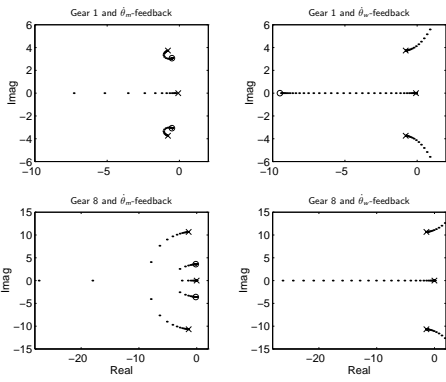
$$y = Cx + e$$

Olika sensorer

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

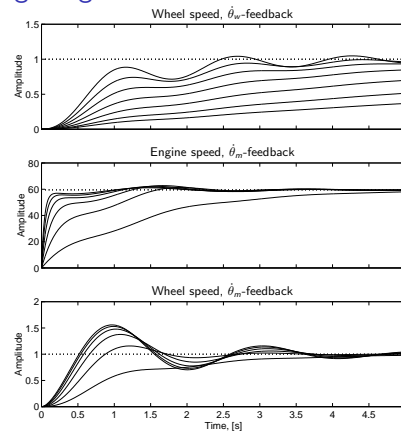
Prestanda variabel z

$$z = Mx + Du$$



Rotort, P-reglering från motorvarvtal och hjulvarvtal: över – växel 1, under – växel 8. Kryss öppna systemets poler. P-reglering av hjulvarvtalet kan ge instabilt system.

## P-Reglering – resultat



Stegsvar för system reglerade med P-regulator olika återkopplings signaler.

## Innehållsförteckning

Drivlina reglering

Drivlinereglering – Allmänna kommentarer

Drivlinereglering – Hastighetsreglering

- Tillståndsåterkoppling
- Aktiv dämpning
- Stationärt fel
- Experiment

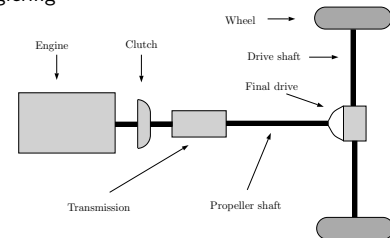
Drivlinereglering - Moment

## Drivlina - Reglering

Reglera rotationshastigheter och moment

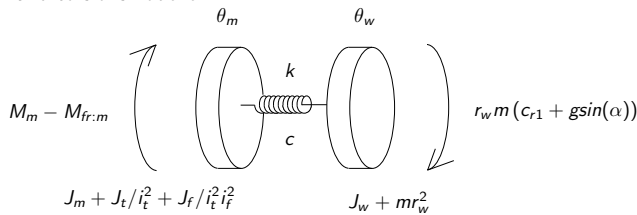
Tillämpningar:

- hastighetsreglering
- växlingsreglering

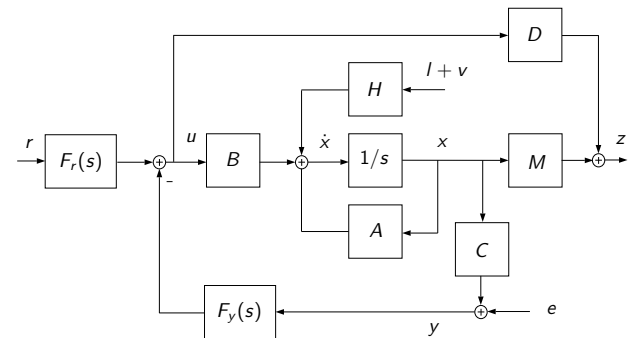


## Drivlina - Reglering

Använd torsionsmodellen



## Drivlina - Reglering



Regulatorer

$F_y$  återkoppling "placering av poler"

$F_r$  framkoppling "servoegenskaper"

## Drivlina - Reglering

Hur var det nu man gjorde mer avancerad reglering än P-reglering?

Med

$$u = M_m - M_{fr,m}$$

tillståndsrepresentation

$$\dot{x} = Ax + Bu + H I \quad (1)$$

## Drivlina - Reglering

$$\begin{aligned} x_1 &= \theta_m / i_t i_f - \theta_w \\ x_2 &= \dot{\theta}_m \\ x_3 &= \dot{\theta}_w \end{aligned} \quad (2)$$

$$I = r_w m (c r_1 + g \sin(\alpha))$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1/i & -1 \\ -k/iJ_1 & -(b_1 + c/i^2)/J_1 & c/iJ_1 \\ k/J_2 & c/iJ_2 & -(c + b_2)/J_2 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1/J_1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad H = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -1/J_2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$i = i_t i_f$$

$$J_1 = J_m + J_t / i_t^2 + J_f / i_t^2 i_f^2$$

$$J_2 = J_w + m r_w^2 \quad (4)$$

$$b_1 = b_t / i_t^2 + b_f / i_t^2 i_f^2$$

$$b_2 = b_w + m c r_2 r_w^2$$

Tillståndåterkoppling

$$u = l_0 r - K_c \hat{x} \quad (5)$$

$K_c$  är tillståndåterkopplingsmatrisen

Kalman-filter

$$\hat{\dot{x}} = A\hat{x} + Bu + K_f(y - C\hat{x}) \quad (6)$$

$K_f$  är Kalmanförstärkningsmatrisen.

Repetition av Reglerteknik  
Man kan placera polerna

Placera polerna så att dynamiken blir väl dämpad  
Regulatorn sköter då detta

**Aktiv dämpning**

## Drivlina - Reglering

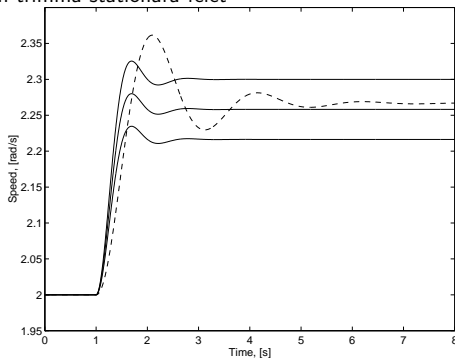
Fungerar Aktiv dämpning?  
I så fall: Hur?

Jämför med klassisk RQV

$$u = u_0 + K_p(r_i - \dot{\theta}_m) \quad (7)$$

## Drivlina - Reglering

Man kan trimma stationära felet



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

## Drivlina - Modellering

Ytterligare motoregenskaper som är viktiga i ett verkligt fall.

**Maximum torque limiter**

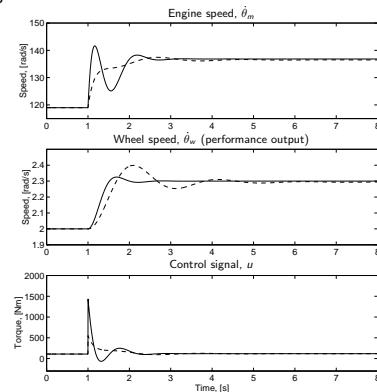
**Diesel smoke limiter** If the turbo pressure is low and a high engine torque is demanded, diesel smoke emissions will increase to an unacceptable level.

**Transfer function from fuel to engine**

**Engine friction** The engine output torque transferred to the clutch is equal to the engine torque (the torque resulting from the explosions) subtracted by the engine internal friction.

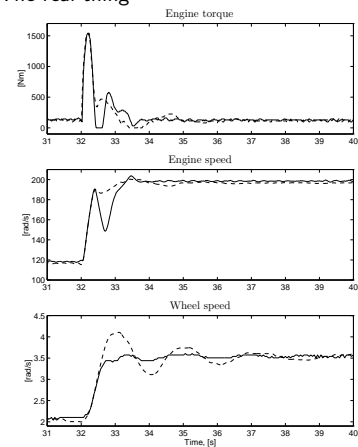
## Drivlina - Reglering

Ja, det fungerar



Jämförelse vid ungefär samma snabbhet.

Fältförsök – The real thing



Aktiv dämpning (heldragen) – Traditional RQV (streckad).

## Innehållsförteckning

[Drivlina reglering](#)

[Drivlinereglering – Allmänna kommentarer](#)

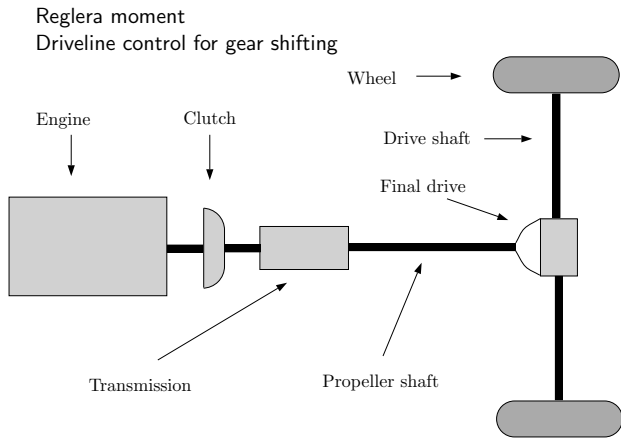
[Drivlinereglering – Hastighetsreglering](#)

[Drivlinereglering - Moment](#)

[Växlingsförlopp](#)

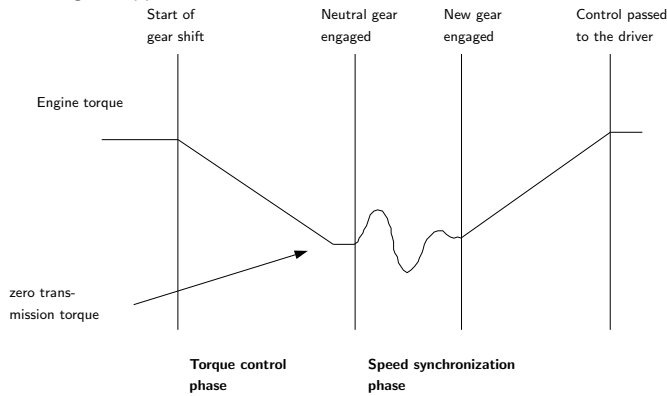
[Avslutande kommentarer](#)

## Drivlina - Reglering



## Drivlina - Reglering

### Växlingsförlopp



## Drivlina - Reglering

### Control Criterion

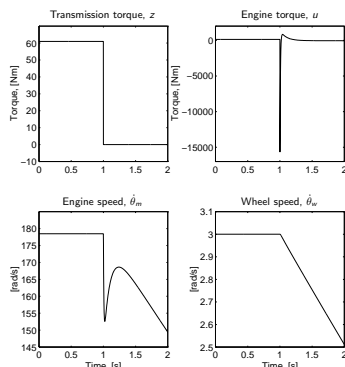
$$\lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T z^2 + \eta(u - u_{shift})^2 \quad (8)$$

### Utskrivet

$$\begin{aligned} & \lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T z^2 + \eta(u - u_{shift}(\dot{\theta}_w, l))^2 \quad (9) \\ & = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T (Mx + Du)^2 + \eta(u - \mu_x \dot{\theta}_w - \mu_l l)^2 \end{aligned}$$

Vad betyder de två termerna?

## Drivlina - Reglering



“Unconstrained active damping.”

Oscillationerna dämpas med realistisk styrsignal. Hastigheten minskar.

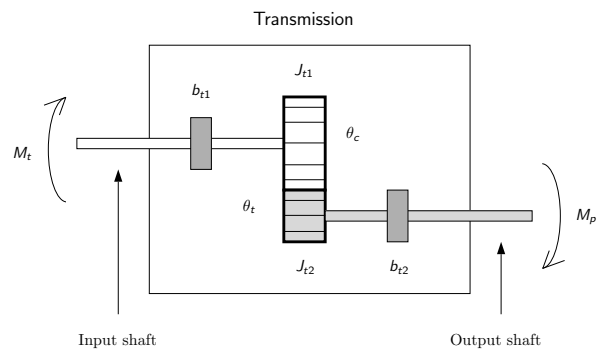
## Automatic Gear Shifting in Heavy Trucks

**Automatic transmission** This approach is seldom used for the heaviest trucks, due to expensive transmissions and problems with short life time. Another drawback is the efficiency loss compared to manual transmissions.

**Manual transmission and automatic clutch** A quite common approach, which needs an automatic clutch system. This system has to be made robust against clutch wear.

**Gear shifting by engine control** With this approach the automatic clutch is replaced by engine control, realizing a virtual clutch. The only addition needed to a standard manual transmission is an actuator to move the gear lever. Lower cost and higher efficiency characterize this solution.

## Drivlina - Reglering



Simplified model of the transmission with two cogwheels with conversion ratio  $i_t$ . The torque transmitted between the cogwheels is the transmission torque,  $z$ .  
–Jämför “Enkelt exempel”

## Drivlina - Reglering

Vad betyder första termen?

Unconstrained Active Damping

$$u = -D^{-1}Mx \quad (10)$$

$z = 0$  is guaranteed.

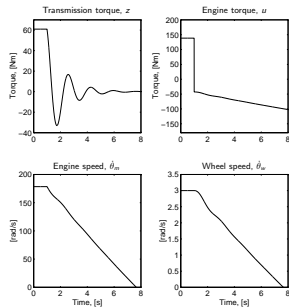
## Drivlina - Reglering

Vad betyder andra termen?  $(u - u_{shift})^2$   
Gear-Shift Condition

$$u = u_{shift} \quad (11)$$

$z = 0$  ur stelkroppsantagande

## Drivlina - Reglering



Control the gear-shift condition.

Styrsignalen får ned momentet men oscillationer i drivlinan. Måste vänta.

## Drivlina - Reglering

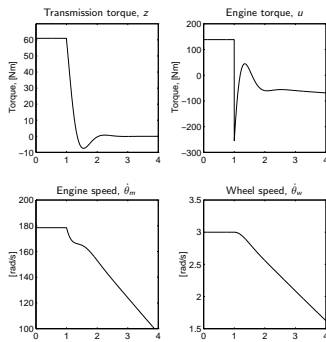
Kombinationen

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T z^2 + \eta(u - u_{\text{shift}}(\dot{\theta}_w, l))^2 \quad (12)$$

$$= \lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T (Mx + Du)^2 + \eta(u - \mu_x \dot{\theta}_w - \mu_l l)^2$$

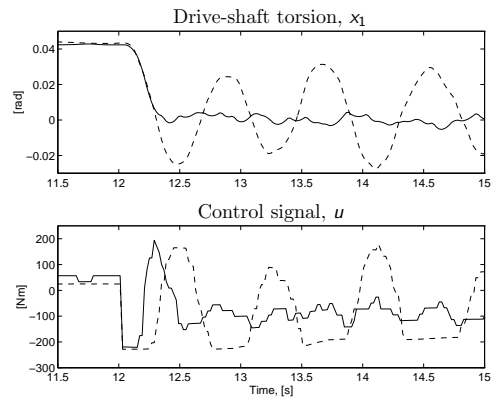
Hur väljer man  $\eta$ ?

## Drivlina - Reglering



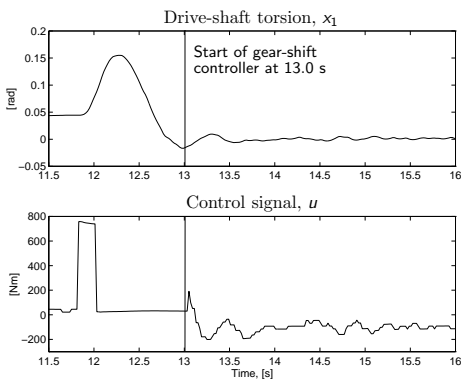
Transmission-torque controller, solving the gear-shift criterion. Uppnåbar styrsignal, och aktiv dämpning av oscillationerna.

## Verifiering - I



Fältförsök med aktiv dämpning.

## Verifiering - II



Fältförsök – Exciterar dynamiken och kopplar sedan in regulatorn. Oscillationerna dämpas ut.

## Drivlina - Modellering

Följetongen fortsätter

**Enkelt exempel**

Illustrerar följande viktiga idéer:

- ▶ likhet mellan olika utsignaler
- ▶ skillnad mellan olika utsignaler
- ▶ förenklat principstudium av poler och nollställen
- ▶ momentmodellering
- ▶ möjliga förkortningar

## Drivlina - Reglering

Förstår ni nu denna figur?

