

# TSFS09 – Modellering och Reglering av Motorer och Drivlinor – Fö 9

## Drivlina – modellering

Lars Eriksson - Kursansvarig

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

November 18, 2019

1 / 37

## Innehållsförteckning

Drivlina – Översikt

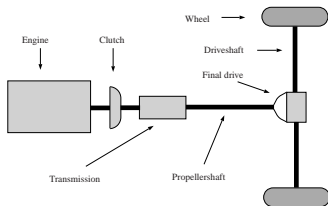
Drivlina – Modellering

Drivlina – Dynamiska förlopp

Drivlina – Utblick

5 / 37

## Drivlinans komponenter



6 / 37

## Drivlinans roll

Övergripande mål vid forskning och utveckling av framtidens fordonssystem.

- ▶ effektivt arbete
- ▶ låga emissioner
- ▶ "körbarhet"
- ▶ säkerhet

Vilken betydelse har drivlinan i dessa sammanhang?

7 / 37

## Innehållsförteckning

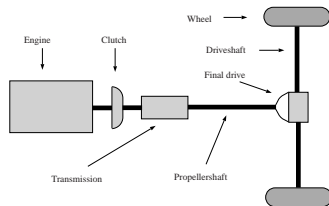
Drivlina – Översikt

Drivlina – Modellering

Drivlina – Dynamiska förlopp

Drivlina – Utblick

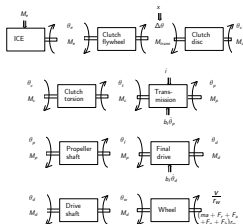
## Drivlinans komponenter



8 / 37

9 / 37

## Drivlina - Modellering



10 / 37

## Drivlina - Modellering

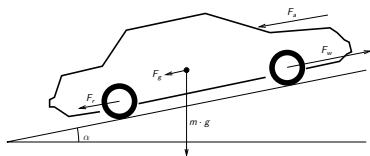
Enkelt exempel

Illustrerar följande viktiga idéer:

- ▶ friläggning av komponenter i drivlina
- ▶ systematik
- ▶ fordonets massa som effektivt tröghetsmoment
- ▶ spegling av tröghetsmoment med  $i^2$

11 / 37

## Drivlina - Modellering



12 / 37

## Stel drivlina – En massemodell

### Egenskaper

- ▶ Stel drivlina
- ▶ Kopplar ihop motor och fordon
- ▶ Motor, drivlina, fordon – En massa

### Användningsområden

- ▶ Kopplar ihop ett fordons väglast med arbetspunkt i motormappen
- ▶ Bränsleförbrukningssimulering
- ▶ Accelerations simulering
- ▶ ...

13 / 37

## Innehållsförteckning

Drivlina – Översikt

Drivlina – Modelling

Drivlina – Dynamiska förlopp

Drivlina – Utblick

14 / 37

## Ett exempel: Scania 144L lastbil



- ▶ 14 liter V8 turbo diesel, 530 Hp, max-moment 2300 Nm. In-line fuel injection pump system.
- ▶ 14 växlar, retarder, OptiCruise.
- ▶  $m = 24\ 000$  kg.

15 / 37

## Drivlina - Modellerig



- ▶ Scania 14 liter V8 DSC14 engine.
- ▶ Scania transmission with retarder
- ▶ OptiCruise automatic gear-shifting system.

### Egenskaper?

- ▶ Vad händer om man trampar gasen i botten på en låg växel?
- ▶ Vad händer om man trampar gasen i botten på lite högre växel?

16 / 37

17 / 37

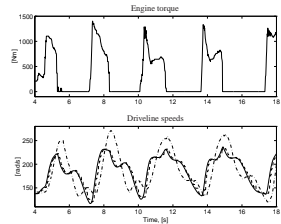
## Drivlina - Modellerig

Mätgivare för hastighet hos

- ▶  $\dot{\theta}_m$  Svänghjul (motorn)  $\dot{\theta}_m$
- ▶  $\dot{\theta}_t$  Växellådans utaxel
- ▶  $\dot{\theta}_w$  Hjulen

Measured Variables			
Variable	Node	Resolution	Rate
Engine speed, $\dot{\theta}_m$	Engine	0.013 rad/s	20 ms
Engine torque, $M_m$	Engine	1% of max torque	20 ms
Engine temp, $T_m$	Engine	1° C	1 s
Wheel speed, $\dot{\theta}_w$	ABS	0.033 rad/s	50 ms
Transmission speed, $\dot{\theta}_t$	Transmission	0.013 rad/s	50 ms

## Stegvarsexperiment

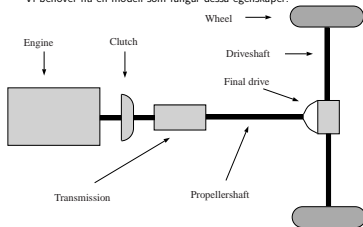


Det gällde att hålla i sig!

18 / 37

19 / 37

Vi behöver nu en modell som fångar dessa egenskaper.



20 / 37

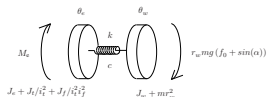
## Drivlina - Modellering

Fortsättning på **Enkelt exempel**  
Illustrerar följande viktiga idéer:

- ▶ torsionsmodellering
- ▶ val av tillstånd

21 / 37

## Drivlina - Modellering



## Drivlina - Modellering

$$\begin{aligned}
 (J_e + J_e/l^2 + J_f/l^2)\ddot{\theta}_e &= M_e - M_{t,m} - (b_e/l^2 + k_f/l^2)\dot{\theta}_e \\
 &\quad -k(\theta_m/l^2 - \theta_w)/l^2 \\
 &\quad -c(\dot{\theta}_m/l^2 - \dot{\theta}_w)/l^2 \\
 (J_w + m_w^2)\ddot{\theta}_w &= k(\theta_m/l^2 - \theta_w) + c(\dot{\theta}_m/l^2 - \dot{\theta}_w) \\
 &\quad - (b_w + m_w r_w^2)\dot{\theta}_w - \frac{1}{2}c_w A_w r_w^2 \dot{\theta}_w^2 \\
 &\quad - r_w m (c_w + g \sin(\alpha))
 \end{aligned}$$

Torsionen i drivaxeln, motorvarvtalet och hjulvarvtalet används som tillstånd enligt.

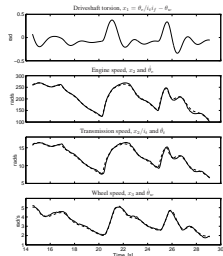
$$x_1 = \theta_m / i_f - \theta_w, \quad x_2 = \dot{\theta}_m, \quad x_3 = \dot{\theta}_w$$

22 / 37

23 / 37

## Drivlina - Modellering

- ▶ Experiment - stegsvar (egentligen hastigheter som trampsvar på gaspedalen)
- ▶ Två tillstånd mäts - ett är okänt
- ▶ Vilket är den viktigaste fysikaliska egenskapen som förklarar data
- ▶ Modellstruktursval
- ▶ Parameterskattning



24 / 37

25 / 37

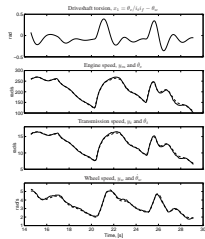
## Drivlina - Modellering

Är modellen perfekt?

Vilken är nu den svagaste länken, dvs den viktigaste omodellerade effekt som behövs för att förklara data.

- ▶ Kopplingsdynamik?
- ▶ Kardandynamik?
- ▶ Sensordynamik?
- ▶ Olinjäriteter?

## Sensordynamik inkluderad



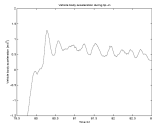
26 / 37

27 / 37

## Drivlina - Modellering

Är modellen perfekt nu då?

Det finns specialfall som kräver ännu noggrannare modeller.



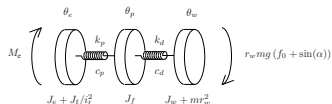
Exempel:

-Slag och såg. Shunt and shuffle. Klonk.

-Automatisk farthållning i svagt nedförslut.

## Drivlina - Modellering

Linjär koppling och torsion i drivaxlarna.

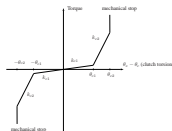


28 / 37

29 / 37

## Drivlina - Modellering

Olinjär karaktäristik för kopplingen



## Olinjär Koppling

Ickelinjär koppling och torsion i drivaxelarna.

$$\begin{aligned}
 J_m \ddot{\theta}_m &= M_m - M_{fr,m} - M_{kc}(\theta_m - \theta_t i_t) \\
 &\quad - c_t(\dot{\theta}_m - \dot{\theta}_t i_t) \\
 (J_t + J_f / i_f^2) \ddot{\theta}_t &= i_t \left( M_{kc}(\theta_m - \theta_t i_t) + c_t(\dot{\theta}_m - \dot{\theta}_t i_t) \right) \\
 &\quad - (b_t + b_f / i_f^2) \dot{\theta}_t \\
 &\quad - \frac{1}{i_f} \left( k_d(\theta_t / i_f - \theta_w) + c_d(\dot{\theta}_t / i_f - \dot{\theta}_w) \right) \\
 (J_w + m r_w^2) \ddot{\theta}_w &= k_d(\theta_t / i_f - \theta_w) + c_d(\dot{\theta}_t / i_f - \dot{\theta}_w) \\
 &\quad - (b_w + m c_{r2} r_w) \dot{\theta}_w - \frac{1}{2} c_w A_2 \rho_2 r_w^3 \dot{\theta}_w^2 \\
 &\quad - r_w m (c_{r1} + g \sin(\alpha))
 \end{aligned}$$

Funktionen  $M_{kc}(\cdot)$  är olinjära kopplingsmodellen.

30 / 37

31 / 37

### Metodik för modellanvändning

- ▶ Enkel modell för reglerdesign
- ▶ Utförligare modell för verifierande simuleringar

Drivlina – Översikt

Drivlina – Modellering

Drivlina – Dynamiska förlopp

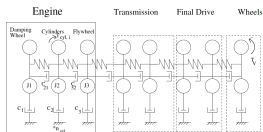
Drivlina – Utblick

32 / 37

33 / 37

## Drivlinemodeller – Avancerade tillämpningar

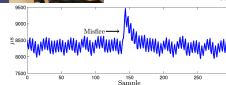
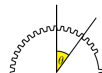
### Analys av (högre) resonansmoder



34 / 37

## Drivlinemodeller – Avancerade tillämpningar

### Analys och detektering av miständning (diagnos)

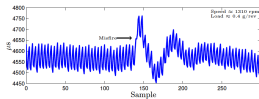
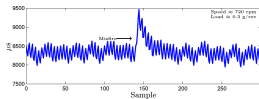


35 / 37



## Drivlinemodeller – Avancerade tillämpningar

Misfire och drivlineoscillationer blandas samman.



## Sammanfattning

Vad har vi gjort under modelleringsarbetet?

- ▶ Grundläggande drivlinemodell (stelkroppsantagande, ...).
- ▶ Studium av riktiga mätningar och deras avvikelser från den enkla modellen.
- ▶ Utvidgade drivlinemodeller.