Fordonsdynamik med reglering

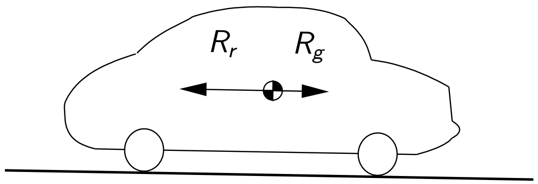
Jan Åslund
jaasl@isy.liu.se
Associate Professor

Dept. Electrical Engineering
Vehicular Systems
Linköping University
Sweden

Föreläsning 4

Tillbakablick: Övning 1.2

I c-uppgiften lutar vägen 0.5 grader och räknar man ut krafterna som verkar på bilen när bilen står still så ser det ut så här:



Resultanten pekar bakåt, men detta betyder inte att bilen kommer att börja rulla uppför backen. Modellen som används för rullmotståndet R_r förutsätter att bilen rullar framåt och är alltså inte giltig i detta fall.

Slutsats:
Bilen rullar inte iväg utan kommer att stå kvar utan att röra sig.

Stillastående bil

Vid simulering av en bil som står stilla och ska starta och rulla iväg är det viktigt att ta hänsyn till följande:

Problem 1: Måste hålla koll på rullmotståndet.

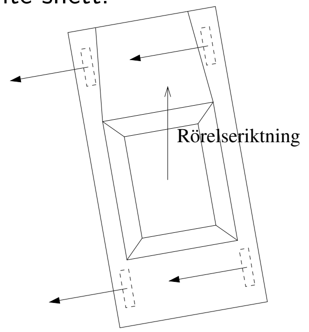
Problem 2: Hur skall slippet i definieras?

Problem 3: Vilken modell för däcket ska användas när hastigheten är noll? Fungerar modellen som visas i figur 1.16?

Sidkrafter: Frågeställning 1

Från föreläsning 2

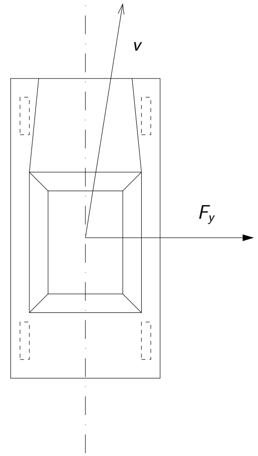
En bil som har kommit lite snett:



Åt vilket håll kommer bilen att vrida sig?

Sidkrafter: Frågeställning 2

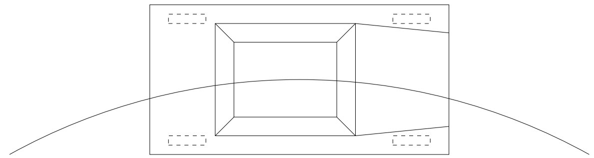
Antag att en sidkraft F_y verkar i tyngdpunkten på en bil som kör rakt fram.



Åt vilket håll vrider sig bilen?

Sidkrafter: Frågeställning 3

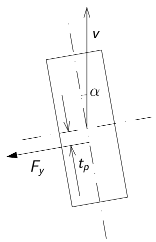
Antag att bilen kör runt i en cirkel med konstant fart.



Antag att farten ökar. Vilket håll ska ratten vridas för att bilen ska ligga kvar på samma cirkel?

Sidkrafter

När ett hjul även rör sig i axiell led uppstår en sidkraft F_y och ett återställande moment $M_z = t_p \cdot F_y$



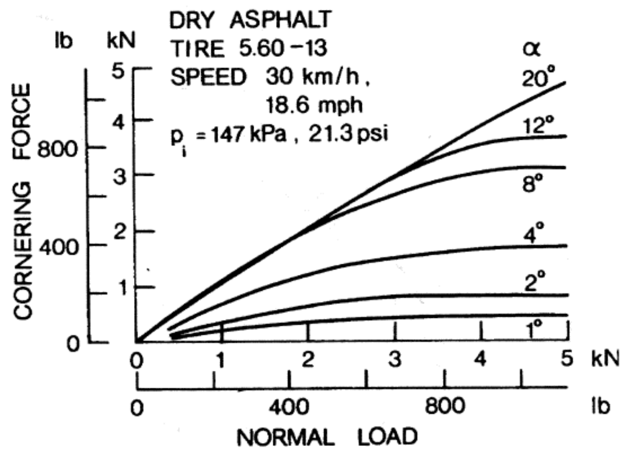
Vi börjar med att använda en linjär modell

$$F_y = C_\alpha \alpha$$

där C_α kallas för sidkraftskoefficienten.

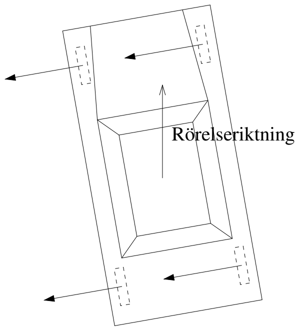
Sidkrafter

Figur 1.25 i läroboken visar hur sidkraften kan bero av avdriftsvinkeln α och normalkraften F_z.



Frågeställning 1

Förutsätter att bilen initialt inte roterar och att framhjulen pekar i samma riktning som bilen.



Då är avdriftsvinkeln α samma för fram- och bakhjulen.

Frågeställning 1

Sidkrafterna på däcken ger ett moment kring tyngdpunkten:

$$M_z = 2l_2 C_{\alpha r}\alpha - 2l_1 C_{\alpha f}\alpha = 2\alpha(C_{\alpha r} l_2 - C_{\alpha f} l_1)$$

där $C_{\alpha f}$ och $C_{\alpha r}$ är sidkraftskoefficienterna för fram- resp. bakhjulen. Räknar med positivt moment medurs.

Tre fall:

- M_z är positivt och bilen vrider sig tillbaka mot färdriktningen.
- M_z är noll
- M_z är negativt och bilen vrider sig bort från färdriktningen.

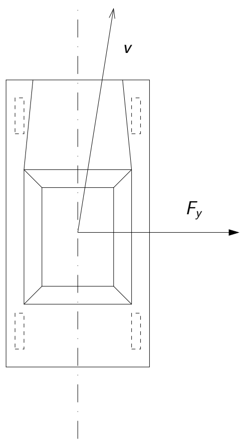
Vi kommer senare se att de tre fallen motsvarar att bilen är

- Understyrd
- Neutralstyrd
- Överstyrd

Dessa begrepp definieras när vi studerar kurvtagning.

Frågeställning 2

Antag att en sidkraft F_y verkar i tyngdpunkten på neutralstyrd bil som kör rakt fram.



Påstående: Då kommer bilen att börja röra sig i sidled utan att vrida sig och avdriftsvinkeln är alltså samma för fram- och bakdäcken.

Frågeställning 2

Visar att påståendet stämmer:

Kraftjämvikt i lateral led:

$$F_y = 2C_{\alpha f}\alpha + 2C_{\alpha r}\alpha$$

Moment kring tyngdpunkten:

$$M_z = 2\alpha(C_{\alpha r} l_2 - C_{\alpha f} l_1) = 0$$

eftersom bilen enligt förutsättningarna är neutralstyrd.

Frågeställning 3: Kurvtagning

Använder följande förenklade modell:

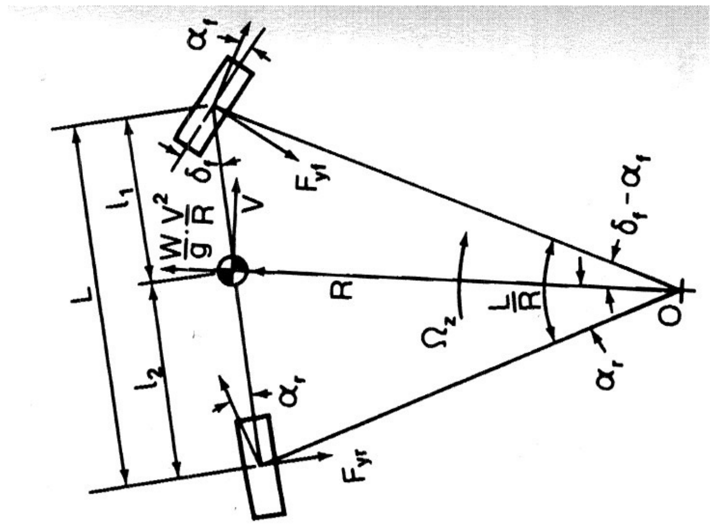
Betraktar en tvåhjuling med ett fram- och ett bakhjul med dubbla sidkraftskoefficienterna, se figur 5.5.

Använder följande approximativa samband för vinklarna:

$$\delta_f - \alpha_f + \alpha_r = \frac{L}{R}$$

Frågeställning 3: Stationär kurvtagning

Figur 5.5



Stationär kurvtagning

Jämviktsekvationerna

$$F_{yf} + F_{yr} = ma_y = \frac{W}{g}\frac{V^2}{R}$$
$$F_{yf} l_1 - F_{yr} l_2 = 0$$

ger sidkrafterna

$$F_{yf} = ma_y \frac{l_2}{L} = \frac{W}{g}\frac{V^2}{R}\frac{l_2}{L}$$
$$F_{yr} = ma_y \frac{l_1}{L} = \frac{W}{g}\frac{V^2}{R}\frac{l_1}{L}$$

Stationär kurvtagning

Jämviktsekvationerna

$$W_f + W_r = \frac{mg}{2} = \frac{W}{2}$$
$$W_f l_1 - W_r l_2 = 0$$

ger normalkrafterna

$$W_f = \frac{mg}{2}\frac{l_2}{L} = \frac{W}{2}\frac{l_2}{L}$$
$$W_r = \frac{mg}{2}\frac{l_1}{L} = \frac{W}{2}\frac{l_1}{L}$$

Stationär kurvtagning

Avdriftsvinklarna

$$\alpha_f = \frac{F_{yf}}{2C_{\alpha f}} = \frac{W_f}{C_{\alpha f}}\frac{a_y}{g}$$
$$\alpha_r = \frac{F_{yr}}{2C_{\alpha r}} = \frac{W_r}{C_{\alpha r}}\frac{a_y}{g}$$

Styrvinkeln

$$\delta_f = \frac{L}{R} + K_{us}\frac{V^2}{gR} = \frac{L}{R} + K_{us}\frac{a_y}{g}$$

Understyrningsgradienten

$$K_{us} = \frac{W_f}{C_{\alpha f}} - \frac{W_r}{C_{\alpha r}} = \frac{W}{2LC_{\alpha f}C_{\alpha r}}(C_{\alpha r}l_2 - C_{\alpha f}l_1)$$

Understyrningsgradienten

Definierar

$K_{us} > 0$: Bilen är understyrd

$K_{us} = 0$: Bilen är neutralstyrd

$K_{us} < 0$: Bilen är överstyrd

En enkel dynamisk modell

Om den laterala accelerationen är liten så kan följande approximation användas:

$$\delta_f \approx \frac{L}{R}$$

Vidare gäller att

$$V = R\dot{\theta}$$

där θ är bilens riktning.

Detta ger sambandet

$$\dot{\theta} = \frac{V\delta_f}{L}$$

En enkel dynamisk modell

Om styrvinkeln varierar långsamt kan följande dynamiska modell användas

$$\dot{x} = V\cos\theta$$
$$\dot{y} = V\sin\theta$$
$$\dot{\theta} = \frac{V\delta_f}{L}$$
$$m\dot{V} = F - C_{ae}V^2$$

Bivillkor:

$$|\delta_f| \leq \frac{L}{R_{min}}$$

där R_{min} är bilens svängradie.

Split μ

Ibland hamnar man i situationer där friktionen mellan däck och underlag är olika för höger och vänster sida

Split μ: Maximal acceleration

Antag att bilen är bakhjulsdriven och att friktionskoefficienten till höger är μ_h och till vänster är μ_v. Försummar rullmotståndet.

Enkel momentjämvikt ger att normalkraften är lika på vänster och höger bakhjul, dvs $W_r/2$.

Maximal acceleration fås då

$$F_r = \mu_h W_r/2 + \mu_v W_r/2 = \frac{\mu_h + \mu_v}{2} W_r$$

Vi får alltså en effektiv friktionskoefficient

$$\mu = \frac{\mu_h + \mu_v}{2}$$

Split μ

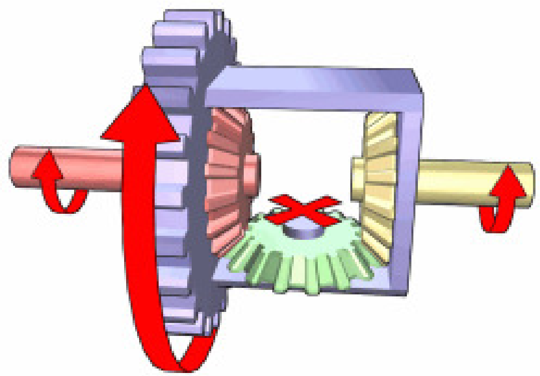
Hur skall vi göra för att fördela kraften mellan höger och vänster sida så att vi får maximal acceleration

$$F_r = \mu_h W_r/2 + \mu_v W_r/2$$

Vid inbromsning så ser ABS-systemet till att kraften fördelas på rätt sätt.

Vid acceleration så kan en aktiv differential lösa problemet.

Klassisk differentialväxel

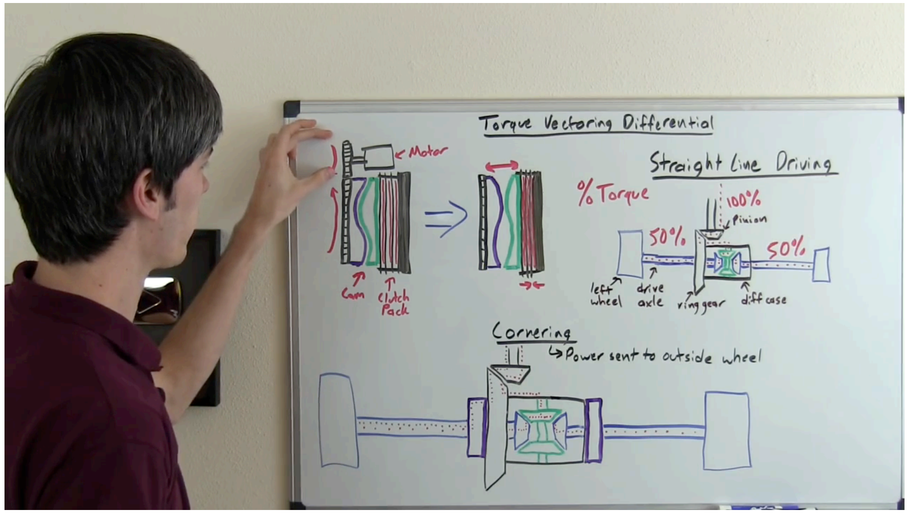


Differentialväxel

Funktion

- Medger att hjulen på drivaxeln roterar olika snabbt, t.ex. i en kurva.
- Fördela momentet lika mellan båda axlarna.

Med en aktiv differentialväxel kan man låsa den, helt eller delvis. Detta gör att man kan fördela momentet olika mellan axlarna.



Styrgeometri: Ackermann

Figur 5.2 visar hur vinklarna på framhjulen skall förhålla sig för att avdriftsvinkeln ska var noll för alla hjul vid låga hastigheter.

Med $d = |OF|$ får vi sambanden

$$\cot \delta_o = \frac{d+B}{L}$$

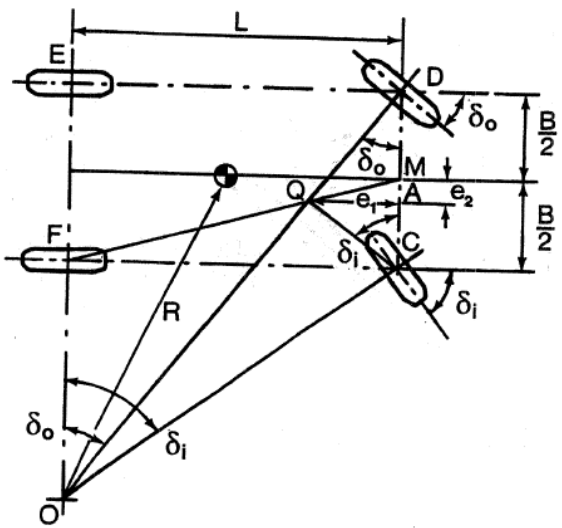
$$\cot \delta_i = \frac{d}{L}$$

och

$$\cot \delta_o - \cot \delta_i = \frac{B}{L}$$

Styrgeometri: Ackermann

Figur 5.2



Styrgeometri: Ackermann

Å andra sidan har vi sambanden

$$\cot \delta_o = \frac{B/2 + e_2}{e_1}$$

$$\cot \delta_i = \frac{B/2 - e_2}{e_1}$$

och

$$\cot \delta_o - \cot \delta_i = \frac{2e_2}{e_1}$$

Sambanden ovan ger

$$\frac{e_2}{e_1} = \frac{B/2}{L}$$

Punkten Q ligger alltså på linjen MF

Styrgeometri: Ackermann

Figur 5.4 visar en enkel konstruktion med ett styrstag och vinklade styrarmar.

Figuren visar hur punkterna O_1, O_2 och O_3, som motsvarar punkten Q, ligger i förhållande till linjen MF.

Styrgeometri: Ackermann

Figur 5.4