

2003:E011



HÖGSKOLAN
TROLLHÄTTAN · UDDEVALLA
INSTITUTIONEN FÖR TEKNIK

EXAMENSARBETE

Retardationskontroll

**Funktionsmodell för styrning av bilmotor
implementerad i Simulink och MATLAB**

Niclas Karlsson

2003-04-09

Högskolan Trollhättan/Uddevalla
Institutionen för teknik
Box 957, 461 29 Trollhättan
Tel: 0520-47 50 00 Fax: 0520-47 50 99
E-post: teknik@htu.se

EXAMENSARBETE

Retardationskontroll Funktionsmodell för styrning av bilmotor implementerad i Simulink och MATLAB

Sammanfattning

Detta examensarbete har utförts på Saab Automobile Powertrain AB i Trollhättan, avdelningen för motorstyrsystemsutveckling. Arbetet handlade om att utveckla en funktion för styrning av motor och växellåda, så att bilens karaktär med släppt gaspedal kan bestämmas.

Arbetet resulterade i två matematiska funktionsmodeller av bilen och dess drivlina, en för bil med automatisk växellåda och en för bil med manuell växellåda. Modellerna beräknar ett moment utifrån en av användaren angiven acceleration som funktion av hastigheten. Automatmodellen beräknar dessutom lämplig växel och om det skall vara lock up eller inte. Modellerna är implementerade i Simulink[®] och MATLAB[®].

Funktionsmodellerna är avsedda att vara verktyg som personal på Saab Automobile Powertrain AB kan ha i sitt utvecklingsarbete av framtida motorstyrsystem.

För att verifiera modellerna uppmättes accelerationen av en bil med manuell växellåda vid utrullning. En jämförelse med beräknad acceleration från den manuella modellen visar på god överensstämmelse. Man kan då anta att också automatmodellen stämmer bra eftersom de i grunden är lika.

Nyckelord: Simulink, drivlina, motorbroms, motorstyrsystem, Powertrain, funktion, modell, simulering

Utgivare: Högskolan Trollhättan/Uddevalla, institutionen för teknik
Box 957, 461 29 Trollhättan
Tel: 0520-47 50 00 Fax: 0520-47 50 99 E-post: teknik@htu.se

Författare: Niclas Karlsson

Examinator: Bo Svensson

Handledare: Martin Erixon, Saab Automobile Powertrain AB

Poäng: 10 **Nivå:** C

Huvudämne: Elektroteknik **Inriktning:** Informationssystem

Språk: Svenska **Nummer:** 2003:E011 **Datum:** 2003-04-09

DISSERTATION

Retardation control Function model for controlling the vehicle engine implemented in Simulink and MATLAB

Summary

This thesis work has been performed at Saab Automobile Powertrain AB in Trollhättan, Department of engine management system development. The work considers the development of a function for controlling the engine and the gearbox in a vehicle, such that the character with released accelerator pedal can be determined.

The work resulted in two mathematical function models of the car and the driveline, one considers a car with automatic gearbox and the another cars with a manual gearbox. The models perform calculation of the torque from a userdefined acceleration as a function of the speed. Besides the torque the automatic model also calculate a suitable gear, and if there shall be lock up or not. The models are implemented in Simulink[®] and MATLAB[®].

The function models are intended to be tools that staff at Saab Automobile Powertrain AB can use in their work in developing future engine management system.

To verify the models the acceleration was measured of a car with manual gearbox when rolling out. A comparison with the calculated acceleration from the manual model indicates a good correspondence. It can be assumed that also the automatic model corresponds well to reality since they are basically equal.

Keywords: Simulink, driveline, engine break, engine management system, Powertrain, function, model, simulation

Publisher: University of Trollhättan/Uddevalla, Department of Technology
Box 957, S-461 29 Trollhättan, SWEDEN
Phone: + 46 520 47 50 00 Fax: + 46 520 47 50 99 E-mail: teknik@htu.se

Author: Niclas Karlsson

Examiner: Bo Svensson

Advisor: Martin Erixon, Saab Automobile Powertrain AB

Subject: Electrical Engineering, Electrical Information Systems

Language: Swedish **Number:** 2003:E011 **Date:** April 9, 2003

Förord

Det här arbetet har utförts på avdelningen för motorstyrsystemsutveckling, Saab Automobile Powertrain AB, Trollhättan.

Jag vill tacka alla som har hjälpt mig i mitt arbete och speciellt vill jag tacka:

- Saab Automobile Powertrain AB som har gett mig möjligheten till att göra det här arbetet.
- Martin Erixon, min handledare på Saab Automobile Powertrain AB, för att alltid funnits till hands för stöd och uppmuntran.
- Bo Svensson, min examinator och lärare på Högskolan Trollhättan/Uddevalla, för att ha gett mig kunskap och inspiration som varit ovärderligt i det här arbetet.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	i
Summary	ii
Förord	iii
Innehållsförteckning	iv
Simulink symbolförklaring	v
Beteckningar	vi
1 Inledning	1
1.1 <i>Bakgrund</i>	1
1.2 <i>Syfte</i>	1
1.3 <i>Mål</i>	1
1.4 <i>Metod</i>	1
1.5 <i>Modifierad metod</i>	2
1.6 <i>Avgränsningar</i>	2
2 Bakgrundsfakta	2
2.1 <i>Körkvalitet</i>	2
2.2 <i>Fysisk modell</i>	3
2.3 <i>Beskrivning av Simulink®</i>	5
2.4 <i>Simulinkmodell</i>	6
3 Automatmodell	6
3.1 <i>Tillståndsblock</i>	7
3.2 <i>Bilblock</i>	8
3.2.1 <i>Externkraft-block</i>	8
3.2.2 <i>Hjul och drivaxel-block</i>	9
3.2.3 <i>Differentialblock</i>	11
3.2.4 <i>Slut- och mellanväxelblock</i>	12
3.2.5 <i>Växellådsblock</i>	14
3.2.6 <i>Momentöverföringsblock</i>	14
3.2.7 <i>Momentomvandlarblock</i>	15
3.3 <i>Betygblock</i>	17
3.4 <i>Matlab function-block</i>	18
3.5 <i>Momentväljarblock</i>	18
3.6 <i>Växelväljarblock</i>	19
4 Manuell modell	19
4.1 <i>Manuell modell - högsta nivå</i>	19
4.2 <i>Kopplingsblock</i>	20
5 Verifiering	21
5.1 <i>SimTool</i>	21
5.2 <i>Accelerationstest</i>	22
6 Resultat	23
7 Slutsats	23
7.1 <i>Genomfört arbete</i>	24
7.2 <i>Förslag på framtida arbete</i>	24
Referensförteckning	26
Bilagor	27

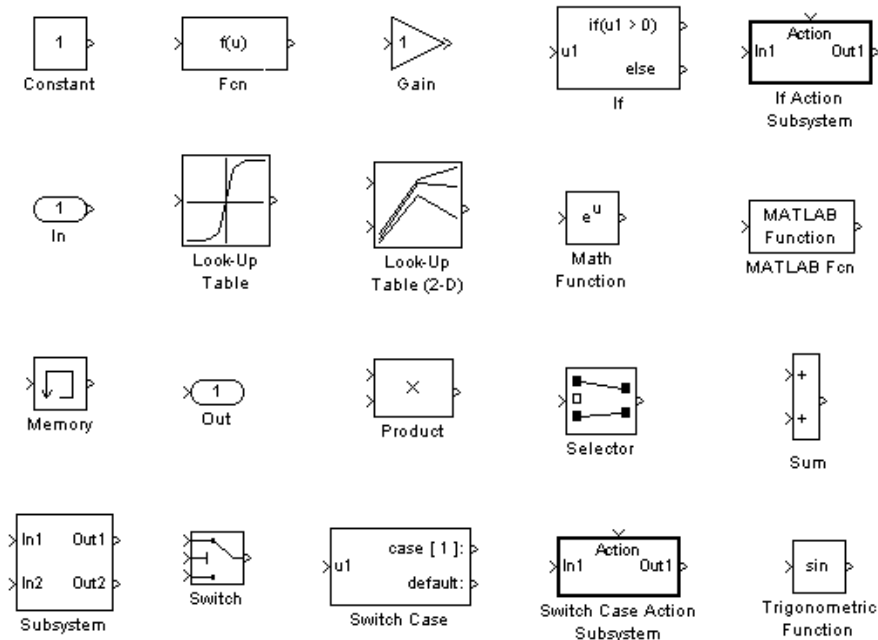
Simulink symbolförklaring

Nedan följer en kort presentation av de Simulinkblock och funktioner som används i modellerna. Ses även i figur I.I

Constant	Utsignal, konstant värde.
Fcn	Tillämpar den specificerade funktionen på signalen.
Gain	Multipliserar signalen med en konstant.
In	Länk till extern insignal.
If	Selekterar vägvalet för signalerna utifrån signalens värde. (C-liknande if-elsekontroll.)
Look-Up Table	Utsignalen är ett värde som skapas genom interpolering mellan värdena i en fördefinierad vektor (1-D) .
2-D Look-Up Table	Utsignalen är ett värde som skapas genom interpolering mellan värdena i en fördefinierad matris (2-D) .
Matlab function	Tillämpar den specificerade Matlab-funktionen på signalen.
Math function	Utför en fördefinierad matematisk operation på signalen.
Memory	Försenar utsignalen ett "sampel".
Out	Länk till extern utsignal.
Product	Multipliserar ihop signalerna.
Selector	Väljer ut element från en vektor eller matris.
Subsystem	Ett subsystem block representerar ett system inne i ett annat system.
Sum	Summerar funktionens insignaler.
Switch	Växlar utsignal mellan den första och den tredje signalen, beroende på värdet av den andra signalen.
Switch Case	Selekterar vägvalet för signalerna utifrån signalens värde. (C-liknande Switch Case kontroll.)

Trigonometric
Function

Tillämpar den trigonometriska funktion till signalen.



Figur I.I Simulinkblock använda i modellerna

Beteckningar

<i>A</i>	effektiv front area	m^2
<i>a</i>	acceleration	m/s^2
<i>i</i>	utväxling	-
<i>M</i>	moment	Nm
<i>J</i>	tröghetsmoment	kgm^2
<i>n</i>	motorvarvtal	varv/min
<i>g</i>	gravitation	m/s^2
<i>N</i>	normalkraft	N
<i>v</i>	hastighet	m/s
<i>r</i>	radie	m

f_n	friktionskoefficient	-
C_D	strömningsmotståndskoefficient	-
TP	tyngdpunkt	-

Grekiska beteckningar

α	stigningsvinkel	rad
Θ	vinkel	rad
λ	styvhet	-
μ	momentförhållande	-
ν	vinkelhastighetsförhållande	-
ρ	luftdensitet	kg/m ³
ω	vinkelhastighet	rad/s

Index

b	bak
bel	belastning, förlust
f	fram
s	slutväxel
sm	slut- och mellanväxel
d	diffrentialväxel
h	hjul
v	växellåda
R	rull(motstånd)
L	luft(motstånd)
k	koppling
T	turbin
P	pump

1 Inledning

Idag ställs mycket höga krav på personbilar och utveckling av dessa. Konkurrensen mellan biltillverkarna är hård och kunderna är väl medvetna om vilka krav de kan ställa på bilens körbarhet, ekonomin och så vidare. Ett sätt att bemöta denna konkurrens är att skära ner tiden och kostnaderna för utvecklingsarbetet av bilen. Ett av de främsta verktygen i det här sammanhanget är att simulera olika fall och situationer som bilen utsätts för. Detta görs med fördel i alla utvecklingsstadier.

1.1 Bakgrund

Med moderna motorstyrssystem kan motorns moment styras oberoende av gaspedalens läge. Det är alltså möjligt att ge bilen den karaktär som önskas genom att ändra funktionalitet eller kalibrering i styrsystemet. Genom detta finns stora möjligheter att ge bilen den karaktär som önskas.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att ta fram en funktion vardera för bil med automat respektive manuell växellåda. Funktionerna skall sedan kunna utvidgas och implementeras i motorstyrssystemet. Utvecklingsarbetet av framtida bilmodeller skall härigenom underlättas för berörd personal.

1.3 Mål

Målet med det här arbetet är att utveckla en matematisk modell som realiserar en funktion för styrning av motor, så att bilens karaktär med släppt gaspedal kan bestämmas, det vill säga bilens motorbroms. Dessutom skall det undersökas huruvida växellådsstyrning kan inbegripas i funktionen.

1.4 Metod

Inledningsvis studeras bilens och drivlinans funktion och fysiska förutsättningar. Det här görs lämpligen genom litteraturstudier, faktasökning på Internet samt samtal med berörd personal.

För att få en bild av vad som upplevs som en bekväm motorbroms studeras även begreppen ”körbarhet” och ”körkvalitet” samt möjligheten att utnyttja objektiva mätdata som kännetecknar en god körbarhet. Erfarenhet och mätdata finns tillgängliga på Saab men vissa egna mätningar är också nödvändiga.

Då det är vanligt med Simulink[®] och MATLAB[®] vid utvecklingsarbete i bilindustrin utvecklas funktionen med fördel i dessa program.

För att verifiera modellerna görs tester av dem i verklig bil. Befintlig utrustning för det här, bland annat programmet SimTool, finns tillgänglig på Saab Powertrain. Även denna studeras närmare under arbetets gång.

1.5 Modifierad metod

Det visade sig att de planerade metoderna inte kunde följas fullt ut, då problem uppstod med SimTool vid verifiering av modellerna. Därför fick de praktiska proven kompletteras med accelerationstest. Sådana test kan enklast utföras på bil med manuell växellåda, varför enbart manuella modellen testades.

Det gjordes då en jämförelse mellan en beräknad acceleration vid en viss hastighet från modellen, och en uppmätt acceleration på en verklig bil. Accelerationsmätutrustning fanns tillgänglig på Saab.

1.6 Avgränsningar

En rad tekniska begränsningar gör att vissa driftsfall i bilen är olämpliga, till exempel med avseende på emissioner eller på växlingskvalitet för bilar med automatväxellåda. Avsikten med arbetet var inte att ta hänsyn till alla tänkbara begränsningar utan att ta fram modeller som sedan kan utvidgas och implementeras i styrsystemet. Eventuella begränsningar kan då läggas till av utvecklingspersonalen efter behov. Vissa begränsningar var dock nödvändiga att ta hänsyn till under utvecklingen av modellerna. Exempel på dessa är motorns motorbromsförmåga, vibrationer i bilen och så vidare.

2 Bakgrundsfakta

För att erbjuda föraren möjlighet till komfortabel körning är bilens motorbroms och nedväxlingen för bil med automatväxellåda viktiga detaljer. Därför har studier av körkvalitet och körkänsla genomförts. Dessa studier och nedan beskrivna fysiska modeller har varit utgångspunkten i arbetet vilket sedan har implementerats i simulink och MATLAB.

2.1 Körkvalitet

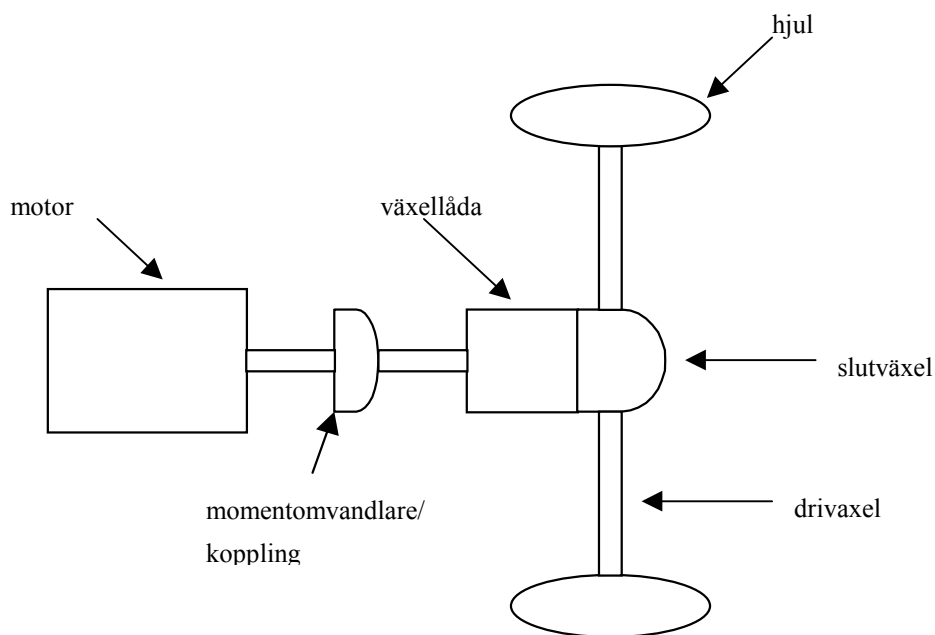
Körkvalitet är ett subjektivt begrepp som inte går att mäta eller bestämmas på vetenskaplig väg, därför gör GM regelbundna undersökningar där oberoende personer ingår i referensgrupper. Dessa personer är i olika åldrar och av olika kön. Personerna har intervjuats där de har fått tala om vad de tycker om en bils körkaraktär samt vad de tyckte kunde förbättras och så vidare. Dessa undersökningar ligger bland annat till grund för utvecklingsarbetet på Saab Powertrain.

Huvudsyftet med det här arbetet var att skapa en allmän modell som sedan kan utvidgas och skräddarsys till respektive bilmodell och funktion. Denna mer ingående kalibrering och bedömning av körkaraktären lämnas åt mer erfarna utvecklingsingenjörer.

Utgångspunkten har i det här arbetet varit att ge en liknande motorbromskaraktär som Saab 9-3 Sport Sedan årsmodell –03 har. För att göra detta möjligt har intervjuer med erfarna utprovare och befintliga objektiva mätdata studerats i modellarbetet.

2.2 Fysisk modell

Figur 2.1 visar en schematisk bild över drivlinan till en framhjuldriven personbil. Bilden representerar både bil med manuell växellåda och bil med automatväxellåda. Drivlinan består av motor, koppling (manuell) alternativt momentomvandlare (automat), växellåda, slutväxel, drivaxlar samt hjul. Den här bilden har varit utgångspunkt vid uppstrukturerandet av modellerna i Simulink. De består av block som representerar de olika delarna i bilden. (Se kapitel 2.4 Simulinkmodell.)

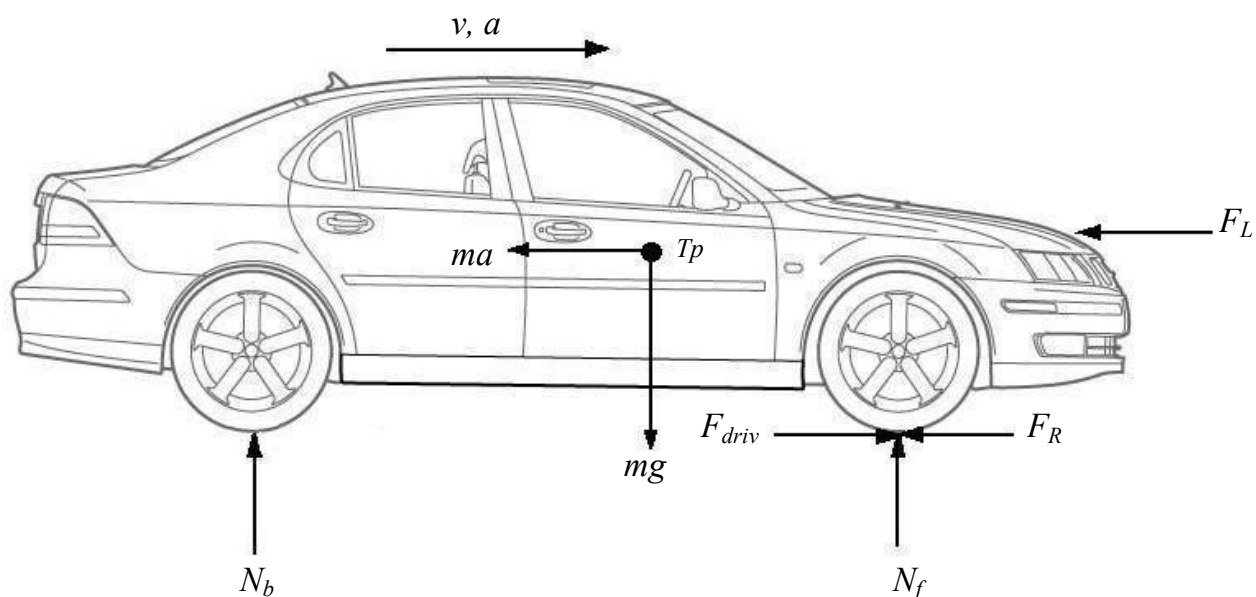


Figur 2.1 Schematisk bild över drivlinan

En viktig del av den fysiska modellen är de externa krafternas påverkan på bilen och dess hjul. Dessa är luftmotståndets och rullmotståndets verkan på bilen samt om bilen rullar i uppförsbacke eller i nedförsbacke.

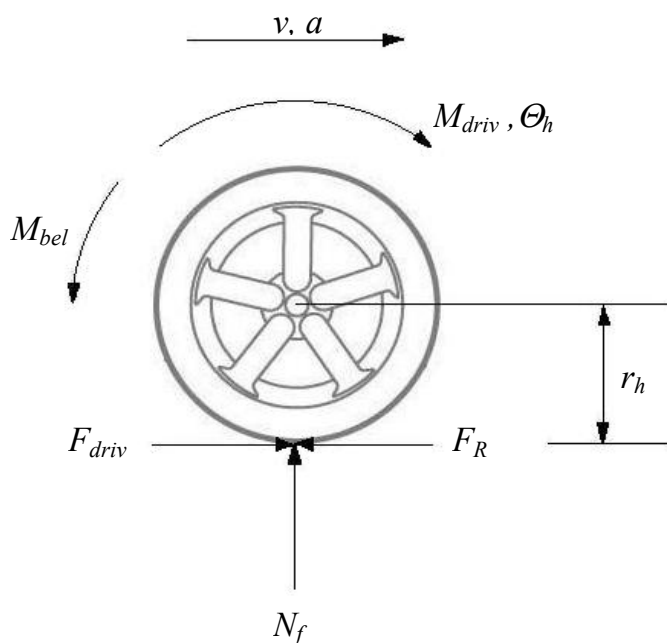
Beräkning med stigningsvinkeln görs i modellerna men eftersom det är mycket komplicerat att mäta vägbanans vinkel har stigningsvinkeln satts till konstant 0° .

I figur 2.2 visas de krafter som verkar på ett fordon med massan m , hastigheten v och accelerationen a .



Figur 2.2 Externa krafters påverkan på bilen

I figur 2.3 ses en modell av bilens framhjul och de faktorer som påverkar dess dynamik. Eftersom det i det närmaste föreligger symmetri inom de aktuella driftområdena modelleras framaxeln som en enhet. I hjul och drivaxelblocket ingår därför hela framaxeln, det vill säga båda framhjulen inklusive drivaxlarna.



Figur 2.3 Frilagt framhjul

Två stycken modeller har tagits fram, en modell anpassad för bil med manuell växellåda samt en för automatväxellåda. Modellerna bygger på grundläggande fysikaliska samband som råder i drivlinan (tröghetsmoment, förlustmoment med mera) samt extern påverkan (luftmotstånd, rullmotstånd och så vidare). Genomgående utnyttjas Newtons andra lag tillsammans med olika antaganden.

Modellerna är i vissa delar förenklade. Exempelvis har ingen hänsyn tagits till så kallad slip^{*)} eller glapp i systemet. Dessa förenklingar har en mycket liten inverkan på modellernas funktion, då slip, glapp och så vidare är försumbara i det här sammanhanget.

En större påverkan däremot, utgörs av förluster i form av friktion. Friktionsförlusterna beror i hög grad av temperaturen i systemet. Dragmomentet^{**)} är exempel på friktionsförluster som till viss del är tidsberoende. Dessa olika förluster är mycket komplexa och var därför inte möjliga att ta hänsyn till på grund av tidsbrist. Genom studier av rapporter och intervjuer av berörd personal har dock vissa förluster kunnat skattas. De har tagits med i modellerna och skall endast ses som symboliska, med liten vetenskaplig bakgrund.

2.3 Beskrivning av Simulink[®]

Simulink är ett program som körs ihop med MATLAB. Dessa program är utvecklade och marknadsförs av MathWorks Inc. Simulink och MATLAB används främst vid simulering av dynamiska system. Simulink erbjuder ett grafiskt användargränssnitt som består av byggblock. Dessa är sammankopplade med "ledningarna". Varje byggblock har en eller flera in- och utgångar. Modellerna är hierarkiskt uppbyggda av så kallade subsystem. Genom att dubbelklicka med musen på blocken kan användaren gå ner i nivå genom hierarkin. Under simuleringen sänds signaler mellan blocken via ledningarna och blocken uppdateras regelbundet. En ledning kan även sända flera signaler till blocken, en så kallad 'vector line'.

^{*)} Däcken slirar alltid mer eller mindre beroende på vägbanans beskaffenhet, är vägbanan en torr asfaltsväg är det lite slip och är det is eller grus på vägbanan blir det ett större slip. Slip har en mycket liten inverkan på modellernas funktion eftersom hjulmomentet är lågt och relativt konstant.

^{**)} Dragmomentet uppstår på grund av att bromsbeläggen alltid ligger mer eller mindre an mot bromsskivan. Direkt efter bromsning ligger de hårdare an i cirka 5 minuter. Den här funktionen används bland annat för att hålla bromsskivorna rena så att bromsförmågan blir effektivare.

2.4 Simulinkmodell

Modellerna är uppbyggda på ett flexibelt sätt så att varje block kan bytas ut, om användaren exempelvis vill förfinas vissa delar. Användaren kan även ändra i befintliga block eftersom modellen inkluderar sådana delar som ännu inte är färdigutvecklade. För att göra modellerna ytterligare flexibla och användarvänliga utnyttjas textfiler där aktuell data skrivs in, vilket medger att uppdatering förenklas. Dessutom görs vissa beräkningar även i MATLAB.

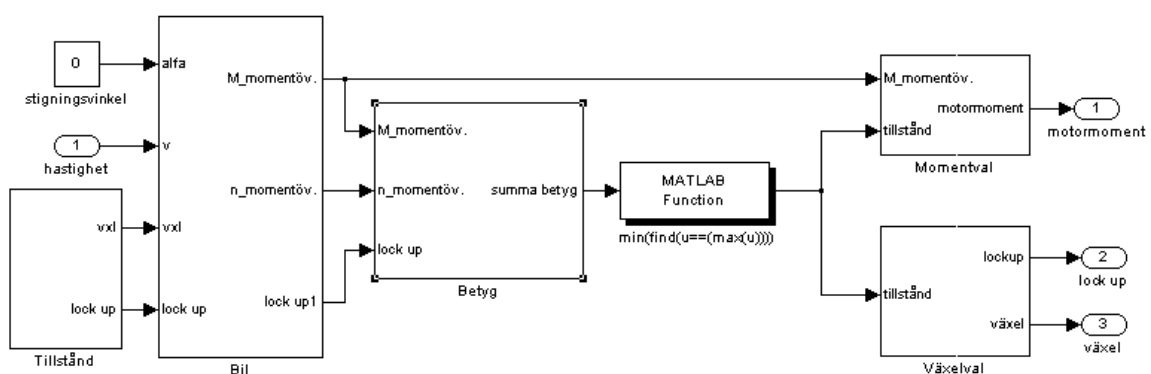
De två versionerna, automatmodellen och den manuella modellen, skiljer sig åt i några avseenden. I automatmodellen väljer modellen ut en lämplig växel utifrån vissa parametrar. Den manuella modellen bygger på att föraren själv på mekanisk väg väljer växel. Vidare har automatmodellen en momentomvandlare för kraftöverföringen från motorn till växellådan, medan den manuella modellen har en koppling

Modellerna innehåller en mängd subsystem som redovisas nedan. En del av dessa är enklare och andra, som är av högre komplexitet, förklaras mer ingående med bland annat den matematiska bakgrunden.

3 Automatmodell

Utifrån en hastighet och önskad retardation beräknas moment, växel samt lock up eller ej (lock up aktiv eller lock up passiv). I figur 3.1 syns hastigheten som insignal och moment, växel och lock up som utsignal.

Lock up är en fastlåsningsfunktion. En mekanisk inkoppling av kraftöverföringen (transmissionen) hos automatväxellådan. Med funktionen undviks slirning i momentomvandlaren.



Figur 3.1 Automatmodell

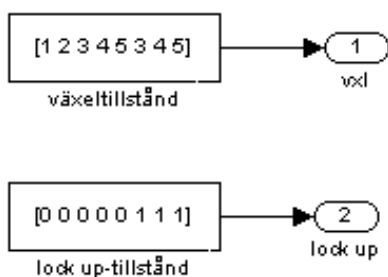
Av modellens olika delar är bilblocket den centrala delen. Det är här beräkningarna sker utifrån de fysiska förutsättningarna som råder för bilen och dess drivlina. Insignalerna

till det här blocket är stigningsvinkel, hastighet, växel och lock up. Växel- och lock up-signalerna är vektorer och beskriver tillstånden (se nedan). Bilblocket beräknar ett motormoment, varvtal samt växel-tillstånd. Dessa går vidare till betygblocket där respektive växel betygsätts.

Matlabfunktionen tar ut tillståndet med det högsta betyget. Därefter väljer växelväljarblocket ut växel och lock up aktiv eller inte. Momentväljarblocket tar samtidigt ut momentet som svarar mot den aktuella tillståndet.

3.1 Tillståndsblock

Tillståndsblocket skapar två vektorsignaler, en växelsignal och en "lock up" signal (se figur 3.2).



Figur 3.2 Tillståndsblocket

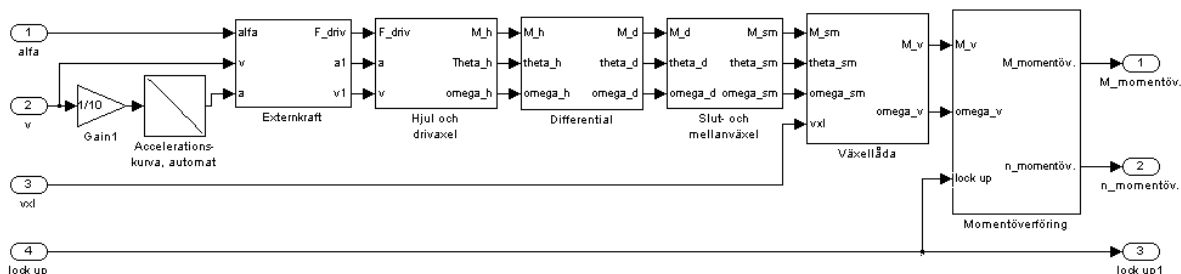
Åtta tillstånd råder, vilka redovisas i tabell 3.1 nedan.

Tabell 3.1 Tillståndstabell

Tillstånd	Växel	Lock up
1	1	ej aktiv
2	2	ej aktiv
3	3	ej aktiv
4	4	ej aktiv
5	5	ej aktiv
6	3	aktiv
7	4	aktiv
8	5	aktiv

3.2 Bilblock

Som tidigare har nämnts beräknar bilblocket momentet och varvtalet för respektive tillstånd. Insignalerna är förutom växel tillstånd och lock up tillstånd, även stigningsvinkeln och hastigheten.

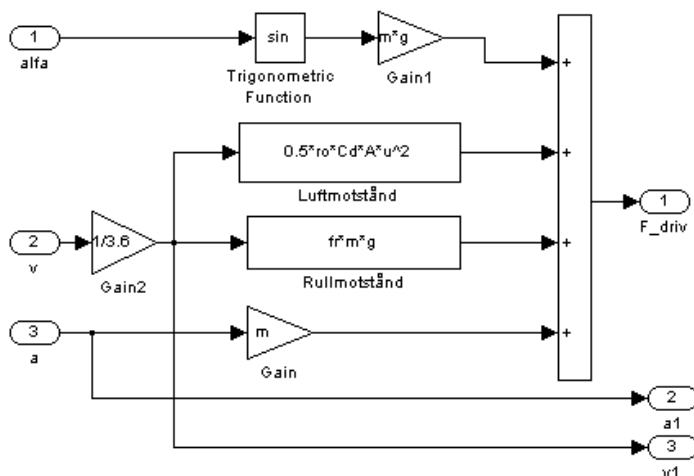


Figur 3.3 Bilblocket

Från hastighetssignalen, utifrån bilens aktuella hastighet, skapas en önskad acceleration som funktion av denna. Det görs med hjälp av en Simulink-Look up Table-funktion. Se block "Accelerationskurva, automat", figur 3.3, samt bilaga B. Simulink-Look up Table-funktionen skapar en utsignal genom interpolering mellan värdena i en fördefinierad vektor eller matris.

3.2.1 Externkraft-block

Första sub-systemet i bilblocket är det som räknar ut den totala kraften F_{driv} (se figur 3.4). F_{driv} baseras på externa krafter, såsom luftmotstånd F_L , rullmotstånd F_R och stigningsmotstånd F_S , samt bilens massa m .



Figur 3.4 Externkraft-block

Stigningsvinkeln α är satt till 0 grader vilket resulterar i att inget stigningsmotstånd föreligger, $F_S = 0$.

Rullmotståndet:

$$F_R = f_r \cdot m \cdot g \quad (3.1)$$

Luftmotståndet:

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \quad (3.2)$$

Kraftjämvikt:

$$F_{driv} - F_S - F_R - F_L = ma \quad (3.3)$$

F_{driv} löses ut:

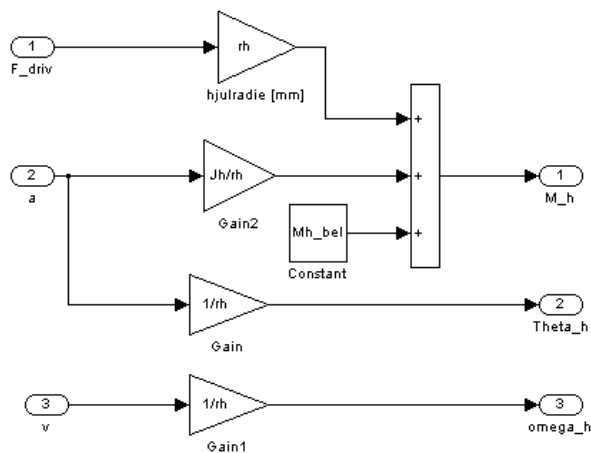
$$F_{driv} = F_S + F_R + F_L + ma \quad (3.4)$$

(Förklaringar till beteckningar och index finns på sidan vi.)

Hastighets- och accelerationssignalerna går även vidare för senare beräkningar.

3.2.2 Hjul och drivaxel-block

Hjul och drivaxel-blocket (figur 3.5) beräknar ett resulterande moment M_h som beror av F_{driv} , radien på hjulen r_h samt drivaxlarnas och hjulens tröghetsmoment J_h .



Figur 3.5 Hjul och drivaxel-blocket

Även vinkelaccelerationen $\ddot{\Theta}_h$ och vinkelhastigheten ω_h beräknas här för att utnyttjas senare i modellen.

Enligt Newtons andra lag är:

$$J_h \cdot \ddot{\Theta}_h = M_h - M_{driv} \quad (3.5)$$

Drivmomentet:

$$M_{driv} = F_{driv} \cdot r_h \quad (3.6)$$

Accelerationen:

$$a = r_h \cdot \ddot{\Theta}_h \quad (3.7)$$

Ekvationerna 3.5, 3.6 och 3.7 samt ett skattat förlustmoment M_{h_bel} ger det resulterande momentet:

$$M_h = \frac{J_h}{r_h} \cdot a + F_{driv} \cdot r_h + M_{h_bel} \quad (3.8)$$

Vinkelaccelerationen och vinkelhastigheten beräknas enligt:

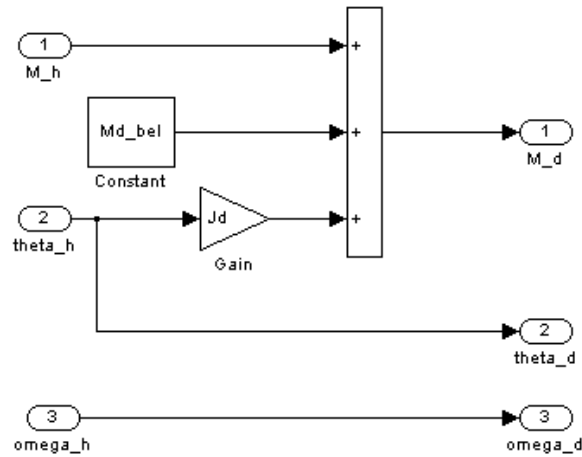
$$\ddot{\Theta}_h = \frac{a}{r_h} \quad (3.9)$$

$$\omega_h = \frac{v}{r_h} \quad (3.10)$$

Utsignalerna från hjul och drivaxelblocket går vidare till differentialblocket.

3.2.3 Differentialblock

Differentialblocket (figur 3.6) summerar momentet från hjulet M_h och tröghetsmomentet $\ddot{\Theta}_h \cdot J_d$ samt förlustmomentet M_{d_bel} i differentialkopplingen.



Figur 3.6 Differentialblocket

Enligt Newtons andra lag är:

$$J_d \cdot \ddot{\Theta}_h = M_h - M_{d_bel} - M_d \quad (3.11)$$

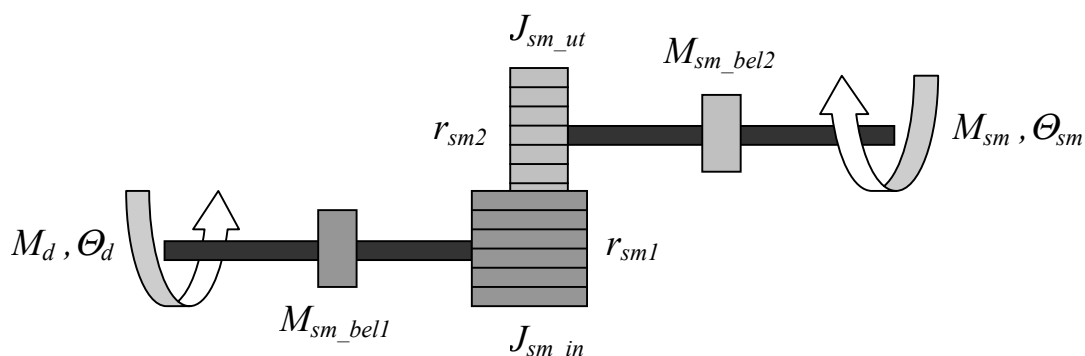
M_d löses ut:

$$M_d = J_d \cdot \ddot{\Theta}_h + M_h + M_{d_bel} \quad (3.12)$$

M_d är det resulterande momentet efter differentialkopplingen.

3.2.4 Slut- och mellanväxelblock

Både slutväxeln och mellanväxeln modelleras som en förenklad växel med en fast utväxling i_{sm} , bestående av två kugghjul med olika radier r_{sm1} och r_{sm2} samt en ingående och en utgående axel (se figur 3.7). Växeln har ett tröghetsmoment på den ingående axeln J_{sm_in} och ytterligare ett på utgående axel J_{sm_ut} . Vidare så har även växeln ett förlustmoment på ingående axel M_{sm_bel1} och ett annat på utgående axel M_{sm_bel2} .



Figur 3.7 Förenklad modell av slut- och mellanväxeln

För att beräkna momentet M_{sm} , vinkelaccelerationen $\ddot{\Theta}_{sm}$ och vinkelhastigheten ω_{sm} i slut- och mellanväxeln används följande ekvationer.

Enligt Newtons andra lag är :

$$J_{sm_in} \cdot \ddot{\Theta}_d = M_d - r_{sm1} \cdot F_{sm} - M_{sm_bel1} \quad (3.13)$$

$$J_{sm_ut} \cdot \ddot{\Theta}_{sm} = M_{sm} - r_{sm2} \cdot F_{sm} - M_{sm_bel2} \quad (3.14)$$

Utväxlingen:

$$i_{sm} = \frac{r_{sm1}}{r_{sm2}} \quad (3.15)$$

Vinkelaccelerationen, utgående axel:

$$\ddot{\Theta}_{sm} = i_{sm} \cdot \ddot{\Theta}_d \quad (3.16)$$

Vinkelhastigheten, utgående axel

$$\omega_{sm} = i_{sm} \cdot \omega_d \quad (3.17)$$

$r_{sm1} \cdot F_{sm}$ löses ut i 3.13 samt $r_{sm2} \cdot F_{sm}$ löses ut i 3.14 vilket ger:

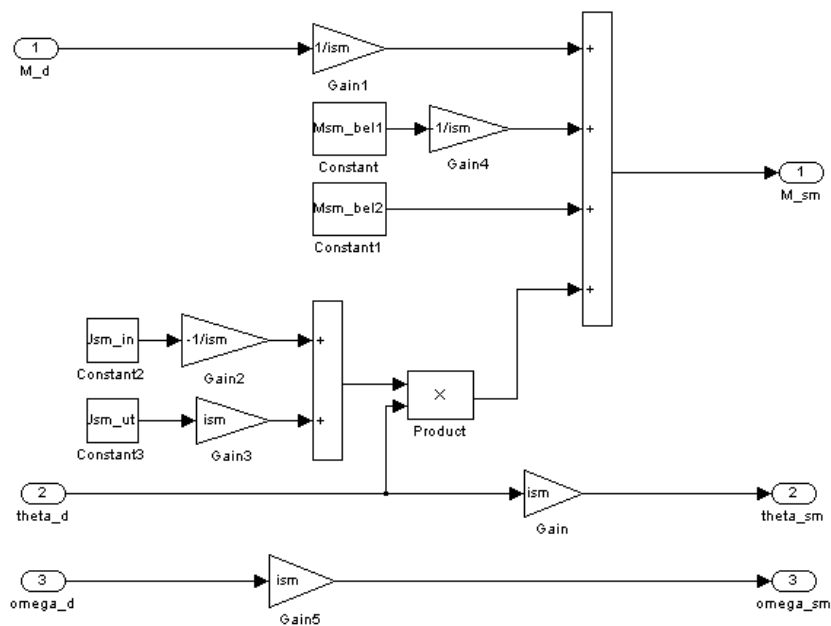
$$r_{sm1} \cdot F_{sm} = M_d - M_{sm_bel1} - J_{sm_in} \cdot \ddot{\Theta}_d \quad (3.18)$$

$$r_{sm2} \cdot F_{sm} = M_{sm} - M_{sm_bel2} - J_{sm_ut} \cdot \ddot{\Theta}_{sm} \quad (3.19)$$

3.18 delat med 3.19, samt 3.15 ger det utgående momentet:

$$M_{sm} = \frac{1}{i_{sm}} \cdot M_d + M_{sm_bel2} - \frac{1}{i_{sm}} \cdot M_{sm_bel1} + \left(i_{sm} \cdot J_{sm_ut} - \frac{1}{i_{sm}} \cdot J_{sm_in} \right) \cdot \ddot{\Theta}_d \quad (3.20)$$

Beräkning av ekvation 3.16, 3.17 och 3.20 görs i slut- och mellanväxelblocket (figur 3.8), vilket ger utsignalerna $\ddot{\Theta}_{sm}$, ω_{sm} och M_{sm} .

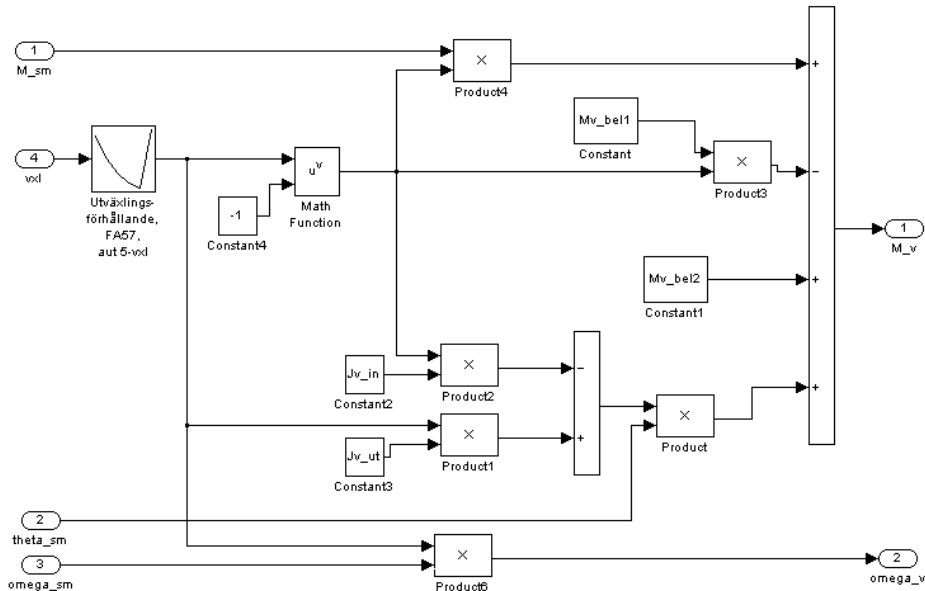


Figur 3.8 Slut- och mellanväxelblocket

Utsignalerna från slut- och mellanväxelblocket går vidare till växellådsblocket.

3.2.5 Växellådsblock

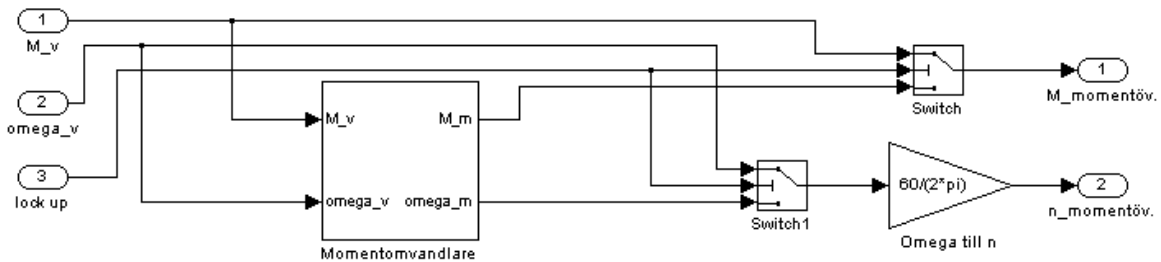
Växellådan modelleras som slutväxeln (se ovan) men med den skillnaden att den har en stegvis variabel utväxling. Här utnyttjas Look up Table-funktion i Simulink. I figur 3.9 benämns denna funktion ”Utväxlingsförhållande” (se även bilaga C). Insignal till funktionen är växeltillståndssignalen och utsignalen är aktuell utväxling.



Figur 3.9 Växellådsblocket

3.2.6 Momentöverföringsblock

Momentöverföringsblockets (figur 3.10) uppgift är, att om lock up är aktiv skall det vidarebefordra momentet och vinkelhastigheten oförändrat från växellådan till nästa block. Om lock up däremot är passiv, är utsignalerna de beräknade värdena på momentet och vinkelhastigheten i ”Momentomvandlare”. Momentomvandlarblocket ingår som ett subsystem i momentöverföringsblocket.

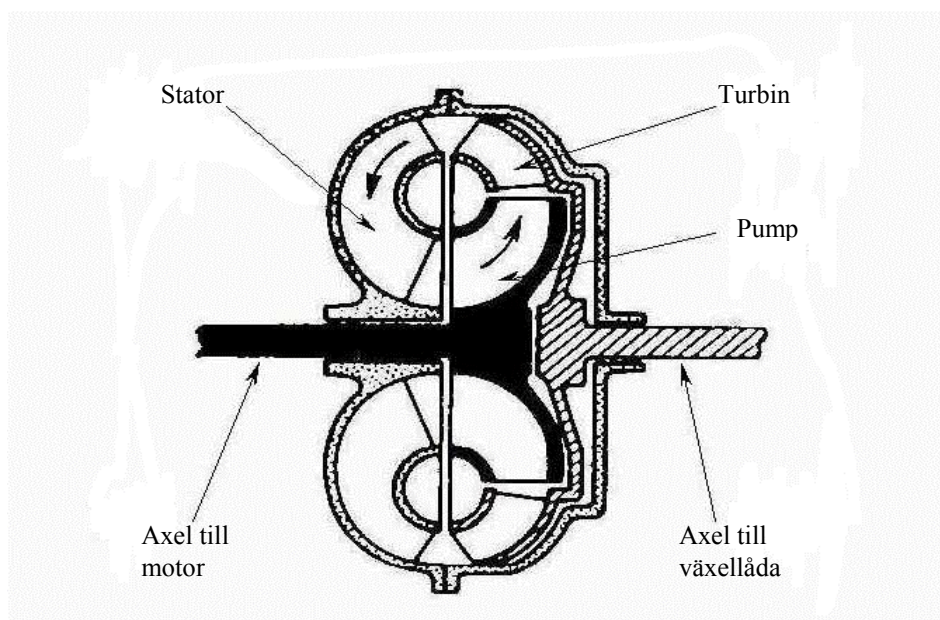


Figur 3.10 Momentöverföringsblocket

I momentöverföringsblocket utnyttjas Simulinkfunktionen Switch för selektering av utsignalerna. Switch-funktionen växlar utsignal mellan den första och den tredje insignalen beroende på värdet av den andra insignalen (styrsignalen). Slutligen omvandlas även vinkelhastigheten till enheten rpm (varv/min).

3.2.7 Momentomvandlarblock

Momentomvandlarens funktion är att överföra motorns moment till växellådan. Den är uppbyggd av pumpimpeller (motorsida), turbinhjul (växellådesida) och stator som är inkapslade i ett "hus". "Huset" är fyllt med olja under tryck. Motorn driver pumpimpellern så att den roterar. Detta leder till överföring av rörelseenergi till oljan. Den här energin utnyttjas sedan för att få turbinhjulet att rotera. Turbinhjulets rotation överförs sedan till växellådan. Figur 3.11 visar ett exempel på hur en momentovandlare kan se ut.



Figur 3.11 Momentomvandlare

Momentomvandlaren definieras allmänt av förhållandena mellan pumpimpeller på motorsidan och turbinhjulet på växellådssidan. Dessa är momentförhållandet μ , vinkelhastighets-förhållandet ν samt styvheten λ_{pp} på momentomvandlarens pumpsida.

Momentförhållandet:

$$\mu = \frac{M_T}{M_P} \quad (3.21)$$

Vinkelhastighetsförhållandet:

$$v = \frac{\omega_T}{\omega_P} \quad (3.22)$$

Styvheten på pumpsidan:

$$\lambda_{pp} = \frac{M_P}{\omega_P^2} \quad (3.23)$$

Dessa definitioner räcker inte då endast M_T och ω_T är kända i modellen. En fjärde definition togs därför fram, momentomvandlarens styvhet på turbinsidan λ_{TT} :

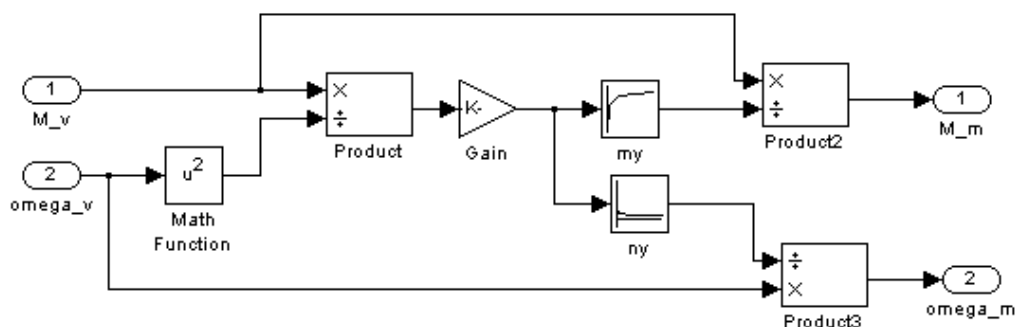
$$\lambda_{TT} = \frac{M_T}{\omega_T^2} \quad (3.24)$$

3.24 ihop med 3.21, 3.22 och 3.23 ger:

$$\lambda_{TT} = \frac{\mu}{v^2} \cdot \lambda_{pp} \quad (3.25)$$

Utifrån givna data på μ , v och λ_{pp} kan λ_{TT} beräknas, vilket ger en fullständig definiering av momentomvandlaren för det här syftet.

Figur 3.12 visar momentomvandlarblocket i Automatmodellen. Där beräknas λ_{TT} med hjälp av insignalerna M_v och ω_v . Med ekvation 3.21 och 3.24 fås momentet M_m . Ekvation 3.22 och 3.24 ger vinkelhastigheten ω_m .

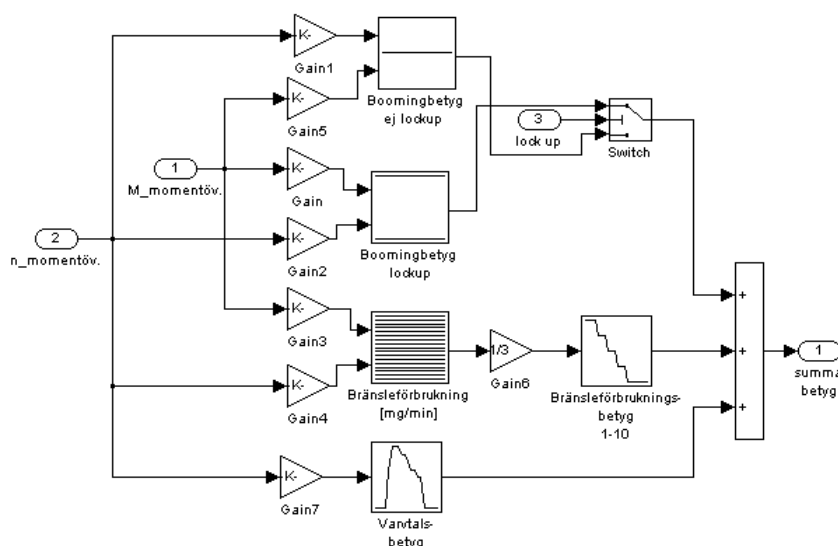


Figur 3.12 Momentomvandlarblocket

Utsignalerna M_m och ω_m går vidare till Switch-funktionerna i momentöverföringsblocket.

3.3 Betygblock

Betygblocket (figur 3.13) beräknar ett betyg för respektive tillstånd. Tillståndet bedöms utifrån så kallad booming, bränsleförbrukning och varvtal. Bedömningen sker enskilt utifrån en skala, från 1-10. Betygen summeras till ett gemensamt betyg, vilket är utsignalen från blocket.



Figur 3.13 Betygblocket

Booming:

Booming är ett allmänt vedertaget namn på resonansljud som uppstår i bilen på grund av vibrationer från drivlinan vid vissa motorvarvtal och belastningar. Detta är något man vill undvika i så hög grad som möjligt. Betygsättningen av boomingnivån för respektive tillstånd sker genom att uppmätta värden på boomingnivån, som funktion av motormomentet och varvtalet, bedöms. Boomingnivån skiljer sig åt beroende på om lock up är aktiv eller passiv. Därför används två olika boomingbetygsfunktioner i betygblocket.

Bränsleförbrukning:

Bränsleförbrukningsfunktionen består av uppmätta värden på bränsleförbrukningen som funktion av motorns moment och varvtal. Värdet på bränsleförbrukningen erhåller därefter ett betyg i bränsleförbrukningsbetygsfunktionen.

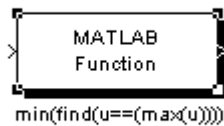
Varvtalet:

Det av modellen beräknade varvtalet, som används för att bedöma både boomingnivån och bränsleförbrukningen, betygsätts också enskilt. Detta sker i varvtalsbetygsfunktionen.

Betygsättningen av de respektive parametrarna är en subjektiv bedömning (se kapitel 2.1 Körkvalitet). Dessa bedömningar måste därför göras av erfarna utprovningssingenjörer och med hjälp av oberoende undersökningar. Betygsättningen i denna modell skall därför endast ses som en vägledning, då dessa endast bygger på antaganden. Även uppmätningen av boomingnivån och bränsleförbrukningen är mycket idealiserad och behöver därför göras speciellt för den här modellen.

3.4 Matlab function-block

Matlabfunktionen (se figur 3.14) $\text{min}(\text{find}(u==(\text{max}(u))))$ tar ut tillståndet med det högsta betyget från betygblocket.

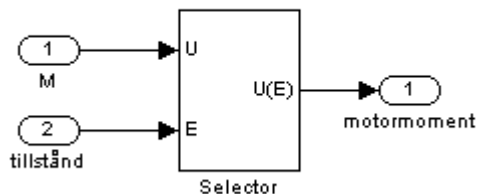


Figur 3.14 Matlab function-block

Om flera tillstånd har samma betyg tar funktionen ut det lägsta tillståndet av dessa.

3.5 Momentväljarblock

Momentväljarblocket (se figur 3.15) har som insignaler det beräknade momentet M för varje tillstånd (vektor) samt tillståndet med det högsta betyget.

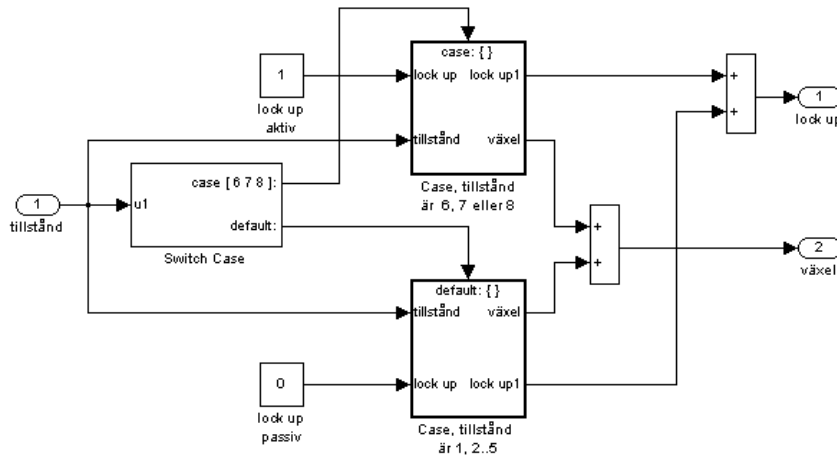


Figur 3.15 Momentväljarblocket

Blockets utsignal, motormomentet, är det moment som svarar mot det aktuella tillståndet.

3.6 Växelväljarblock

Växelväljarblocket består av en C-liknande Switch Case sats (se figur 3.16). Där Switch Case blocket selekterar vägvalet för signalerna utifrån insignalens (tillstånd) värde. Om tillståndet är 6,7 eller 8 sätts lock up till 1 (aktiv), för tillstånden 1 till 5 sätts lock up till 0 (passiv).



Figur 3.16 Växelväljarblocket

Vidare väljs den växel som svarar mot aktuellt tillstånd (se tabell 3.1 i kap 3.2).

Utsignalerna motormomentet från Momentväljarblocket samt lock up och växel från växelväljarblocket svarar mot den önskade negativa accelerationen.

4 Manuell modell

Som tidigare har beskrivits i kapitel 2.4 Simulinkmodell skiljer sig automatmodellen och den manuella modellen i vissa avseenden. En avgörande skillnad är att föraren själv sköter upp- och nedväxling i en bil med manuell växellåda.

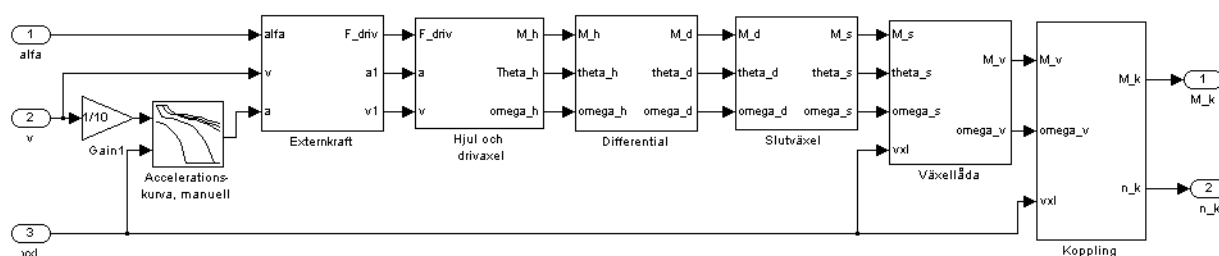
Den manuella modellen är betydligt enklare i sin utformning och består endast av det block som i automatmodellen motsvaras av Bilblocket. Vissa delar är dock ändrade. Bland annat skiljer sig värdena på utväxlingsförhållanden både i slutväxeln och i växellådan samt förluster i dessa (se bilagor).

Nedan redovisas endast de delblock som skiljer sig åt från automatmodellen på ett avgörande sätt.

4.1 Manuell modell - högsta nivå

För att erhålla en så naturlig motorbromsning som möjligt har olika accelerationskurvor som funktion av växel och hastighet utnyttjats (se figur 4.1 samt bilaga J). Ju högre växel och hastighet desto mindre retardation. Strävan har varit att erhålla en motorbroms

liknande den som 9-3 Sport Sedan har idag, men användaren kan fritt välja karaktären på motorbromsen genom att ändra på accelerationskurvan.

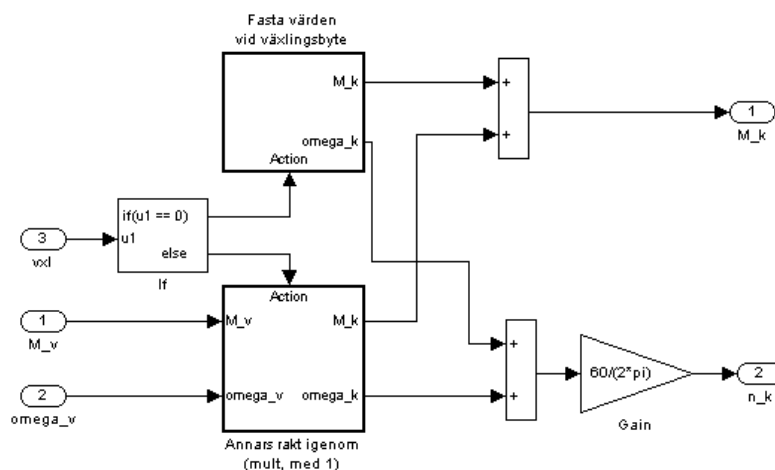


Figur 4.1 Manuell modell

Växelsignalen från motorstyrenheten utnyttjas som insignal till modellen för att sedan användas för beräkningarna i modellen. Utsignaler är det beräknade momentet och det varvtal som ger den önskade accelerationen som funktion av hastighet och växel.

4.2 Kopplingsblock

Kopplingsblocket (figur 4.2) består av en C-liknande if-elsekontroll där selektion av vägvalet för utsignalerna M_k och ω_k sker utifrån insignalens värde, vxl .



Figur 4.2 Kopplingsblocket

Utsignalerna sätts till godtyckliga konstanta värden då $vxl = 0$, alltså under ”växlingsögonblicket”. Det här görs eftersom motorns tillstånd ej kan bestämmas utifrån bilens tillstånd vid växling. Med andra ord är inte funktionen aktiv vid växling.

Däremot när växeln har värdet 1 till 5, är utsignalerna från blocket samma som insignalerna till blocket.

5 Verifiering

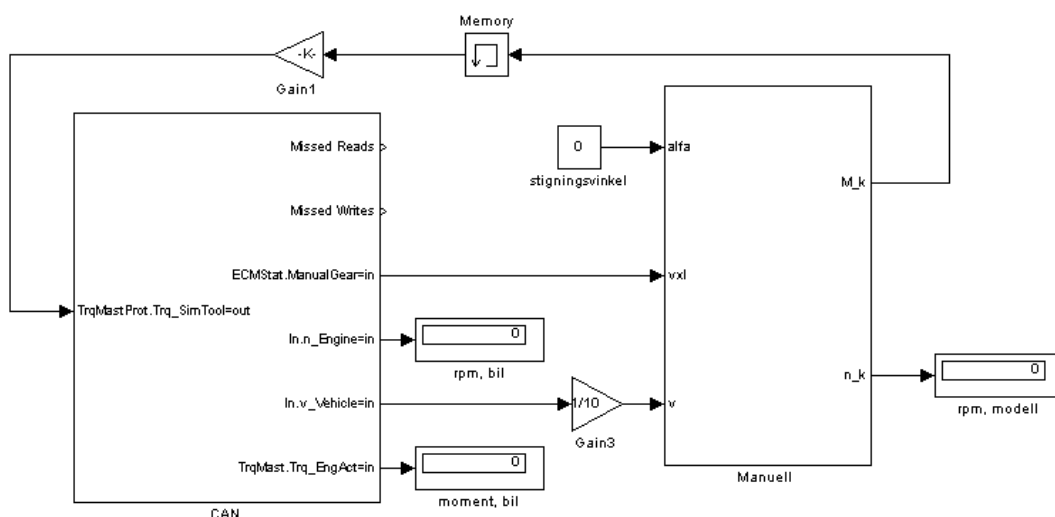
För att verifiera modellerna var tanken att det här skulle ske med hjälp av programmet SimTool och styrning av motor i en verklig bil. Mycket tid lades på att få SimTool att fungera, det misslyckades dock varför en annan väg fick väljas för att i alla fall verifiera rimligheten av modellernas funktion.

Istället valdes då att göra en jämförelse mellan en beräknad acceleration vid en viss hastighet från modellen och en uppmätt acceleration på en verklig bil.

5.1 SimTool

SimTool är ett program som används för att verifiera och testa Simulink-modeller direkt mot motorns styrenhet. Programmet är utvecklat av Saab Automobile AB för att underlätta för de funktionsutvecklare som i sitt arbete använder Simulink för att göra modeller.

SimTool exekverar alla funktioner på datorn och inte i styrenheten. Kommunikationen med motorstyrenheten sker med hjälp av diagnosprotokollet över CAN-bussen. SimTool läggs efter installation upp som en toolbox i Simulink-browsern. CAN-blocket som ingår i denna toolbox fungerar som ett vanligt Simulinkblock där inställningar kan göras. Inställningarna består av att ange vilka symboler i motorstyrssystemet som skall ingå i blocket. Efter inställningar har gjorts skapas in- och utgångar för symbolerna i blocket. Dessa kopplas sedan till modellen på samma sätt som sker med blocken i Simulink.



Figur 5.1 Manuell modell kopplad till CAN-blocket

Figur 5.1 visar den manuella modellen kopplad till SimTools CAN-block. Växelsignalen och hastighetssignalen läses från CAN-blockets utgångar och utnyttjas som insignaler till modellen för beräkningar av M_k . Därefter sänds det beräknade momentet M_k till CAN-blocket.

Men på grund av mjukvaruproblem fungerade det här endast sporadiskt och testerna fick därför avbrytas. Vissa tester fungerade dock men eftersom fokus låg på att få SimTool att fungera, dokumenterades inget av dessa test.

5.2 Accelerationstest

Med hjälp av en accelerationsmätutrustning uppmättes accelerationen vid utrullning (med växellådan i friläge). Bilen, en 9-3 Sport Sedan med manuell växellåda, kördes i en konstant hastighet varvid friläge lades i och bilen fick därefter ”rulla ut”. Bilen påverkades således endast av luft- och rullmotstånd samt förlusterna i drivlinan.

Mätningarna upprepades på samma vägsträcka 16 gånger (8 gånger åt vardera håll) vid olika hastigheter. Resultatet av mätningarna dokumenterades och kan ses i bilaga L.

Beräkningarna gjordes med utgångspunkt från modellens luftmotstånd F_L , rullmotstånd F_R , massan m och dess skattade totala förlustmoment M_{tot_bel} enligt:

$$a = \frac{F_L + F_R + M_{tot_bel} \cdot \frac{1}{r_h}}{m} \quad (5.1)$$

$$M_{tot_bel} = M_{h_bel} + M_{d_bel} + M_{s_bel1} + M_{s_bel2} + M_{v_bel1} + M_{v_bel2} \quad (5.2)$$

Insättning av data samt beräkning ger följande resultat av accelerationen a vid olika hastigheter v .

$$v = 130 \text{ km/h ger } a = -0.50 \text{ m/s}^2$$

$$v = 100 \text{ km/h ger } a = -0.36 \text{ m/s}^2$$

$$v = 80 \text{ km/h ger } a = -0.29 \text{ m/s}^2$$

6 Resultat

Examensarbetet resulterade i två funktionsmodeller för styrning av motorbroms, en för bil med automatlåda och en för bil med manuell växellåda. Modellerna är implementerade i Simulink och är av generell karaktär, där data för respektive block är skrivna i MATLAB och i textfiler.

Automatmodellen beräknar ett moment, växel och om det skall vara lock up eller inte. Det här görs utifrån en acceleration som funktion av aktuell hastighet. Bedömningen av vilken växel som väljs görs utifrån betyg på booming, bränsleförbrukning samt varvtalet.

Den manuella modellen beräknar ett moment utifrån accelerationen som funktion av hastigheten. Accelerationskurvorna i den manuella modellen är - till skillnad från automatmodellen - olika, beroende på vilken växel som används.

Tanken att verifiera modellerna genom att styra en verklig bils motorbroms måste anses vara den rätta vägen att gå för att få konkret bevis på att modellerna stämmer. Eftersom detta dock misslyckades är en jämförelse mellan en beräknad respektive en uppmätt acceleration ett acceptabelt alternativ. Detta ger då en fingervisning om huruvida modellerna stämmer överens med verkligheten. En sådan jämförelse gjordes mellan beräknad acceleration av den manuella modellen, och uppmätt acceleration vid utrullning hos bil med manuell växellåda. Jämförelsen gav likvärdiga värden, vilket innebär att den manuella modellen överensstämmer väl med verkligheten.

Mätningen av utrullningsaccelerationen vid hastigheterna 130, 100 respektive 80 km/h redovisas i bilaga L.

7 Slutsats

Jag har uppfyllt och nått de uppställda målen med examensarbetet, det vill säga att utveckla en matematisk modell som realiserar en funktion för styrning av motor och bilens motorbroms. Dessutom har jag inte bara undersökt huruvida växellådsstyrning skulle kunna inbegripas i funktionen, utan även realiserat det.

Vidare arbeten bör dock utföras, för att få en fullt fungerande funktion. Om detta görs, har personalen på Saab Powertrain ett kraftfullt verktyg vid utvecklingsarbete av framtida motorstyrssystem (se kapitel 7.2 Förslag på framtida arbete).

Vid presentationen av arbetet på Saab, möttes jag av ett stort intresse och fick positiv respons på de utvecklade funktionsmodellerna. Personalen tror sig ha stor användning för modellerna och ser stor potential i att arbeta med den här typen av simulering.

Examensarbetet har varit mycket lärorikt. Det har varit en lagom fördelning mellan att använda mig av kunskaper som jag har erhållit under utbildningens gång samt av ny kunskap som jag har inhämtat under examensarbetet.

7.1 Genomfört arbete

Första halvan av examensarbetet följde planen, det vill säga jag studerade bilens och drivlinans funktion och koncentrerade mig på de bitar som jag tidigare inte haft så mycket kontakt med. Jag studerade även den grundläggande mekanik som kom i fråga i det här arbetet. Jag upptäckte på ett tidigt stadium, att det skulle bli väsentligt mycket svårare att utveckla en modell för bil med automatlåda än för bil med manuell växellåda. Eftersom grunderna är de samma såg jag därför till att först och främst ta fram den manuella modellen.

Jag kunde då i ett tidigt skede testa en version av den manuella modellen genom att styra en verklig bils motorbroms med denna. Det visade sig vara lättare sagt än gjort. Det fanns befintlig utrustning för det här men mycket liten erfarenhet. Kommunikationsproblem uppstod mellan datorprogram och bil, vilket gjorde att jag var tvungen att lägga mycket tid på detta. Jag tog då ihop med min handledare beslutet att avsluta det här för att kunna gå vidare i arbetet med framförallt utvecklingen av automatmodellen. Vissa av testen gick dock att genomföra (vilka jag tyvärr inte hade möjlighet att dokumentera). Men jag kunde då i alla fall se att modellen fungerade verklighetsenligt.

När jag hade övergått till utvecklingsarbetet av automatmodellen fick jag hjälp av personal från avdelningen för växellådsutveckling och beräkningsavdelningen. Här kunde jag utnyttja personalens domänkunskaper och applicera dessa på mitt arbete.

För att på något sätt få en dokumenterad verifiering av modellerna beslutade jag mig för att mäta accelerationen i en verklig bil och jämföra den med en beräknad från modellerna. Jag lånade då accelerationsmätutrustning från avdelningen Mätcentrum. Efter att jag hade satt mig in i utrustningen, utförde jag mätningarna på en 9-3 Sport Sedan med manuell växellåda. En jämförelse mellan den då uppmätta och den beräknade accelerationen visade på god överensstämmelse. Man kan även anta att automatmodellen är rimlig då modellerna i grunden är väldigt lika.

Vidare tester behöver dock göras av båda modellerna ihop med SimTool, så att bilens motorbroms kan styras. På så vis kan finjusteringar utföras så modellerna blir så verklighetstroga som möjligt.

7.2 Förslag på framtida arbete

På grund av tidsbrist samt problem som uppstod med mjukvaror, är modellerna i vissa delar begränsade. En del av begränsningarna bör dock tas hänsyn till för att erhålla en modell som man kan använda sig av fullt ut. Nedan följer ett antal förslag på ytterligare, ändringar och förbättringar som bör göras samt eventuella utvecklingsmöjligheter hos modellerna.

- Mätning av boomingnivån i bilkupén och mätningar av bränsleförbrukning bör göras vid aktuell belastning och varvtalsområde.

- Justering och viktning av betygssättningen för de olika parametrarna bör göras eftersom betygssättningen av parametrarna i nuläget är en mycket grov uppskattning.
- Implementera bränsleavstängningsfunktionen i automatmodellen.
- Slutligen, för att verifiera och använda sig av modellen fullt ut, bör tid avsättas till att sätta sig in i programmet SimTool och dess funktion. Det är viktigt eftersom SimTool i dagsläget är det enda program som i dessa sammanhang används för att kommunicera med motorstyrenheten.

Referensförteckning

- [1] Automotive handbok. Robert Bosch GmbH, 1996.
- [2] T.D. Gillespie. 1992. *Fundamentals of vehicle dynamics*. SAE international.
- [3] J.L. Meriam, L.G. Kraige. 1993. *Dynamics*. John Wiley & sons, Inc.
- [4] J.L. Meriam, L.G. Kraige. 1993. *Statics*. John Wiley & sons, Inc.
- [5] Lennart Ljung, Torkel Glad. 1991. *Modellbygge och simulering*. Lund: Student Litteratur.
- [6] Lennart Ljung, Torkel Glad. 1991. *Modellbygge och simulering*. Övningsbok. Lund: Student Litteratur.
- [7] Eva Pärt-Enander, Anders Sjöberg. 1998. *Användarhandledning matlab 5. 2:* uppl. Stockholm: Elanders Gotab.
- [8] Ingvar Jacobsson. 2002. Drive quality test & analysis Saab 9-5, 5 Door, B2,3R Automatic Model Year: -03.
- [9] Ingvar Jacobsson. 2002. Drive quality test & analysis Saab 440 2 Door B2,0E Manual Model Year: -04.

Bilagor

A	Matlabkod	4 sidor
B	Accelerationsdata, automat	1 sida
C	Utväxlingsförhållande, 5-vxl automat, FA 57	1 sida
D	Momentomvandlardata, $\lambda_{TT}, \mu, \nu, \lambda_{PP}$	1 sida
E	Boomingbetyg, ej lockup	1 sida
F	Boomingbetyg, lockup	1 sida
G	Bränsleförbrukning	1 sida
H	Bränsleförbrukningsbetyg	1 sida
I	Varvtalsbetyg	1 sida
J	Accelerationsdata, manuell	1 sida
K	Utväxlingsförhållande, 5-vxl manuell	1 sida
L	Resultat av accelerationsmätningarna	3 sidor

Bilaga A

MATLAB-kod

```
% Niclas Karlsson
% Trollhättan 030210
% Examensarbete 10p 02/03
% Automatmodell

% När Simulink automatmodell används,
% skall denna Matlabfil köras först.
% Det görs för att ladda den data som tillhör modellen.

close all
clear all
clc

% Momentomvandlare:
% laddar momentomvandlardata (217K)
momentomv_data=load('momentomvandlare_inkl_lambda_tt.txt');
%-----

% laddar accelerationsdata för automat
aut_acc=load('acc_440_aut5_data.txt');
%-----

%Bränsleförbrukning:
% laddar bränsleförbrukningsdata
Bransleförbrukning=load('bransleförbrukning.txt');

% laddar bränsleförbrukningsbetyg
Bransle_betyg=load('bransleförbrukning_betyg.txt');
%-----

% laddar varvtalsbetyg
varvtals_betyg=load('varvtals_betyg.txt');
%-----

% Booming:
% laddar boomingbetyg ( låst lockup )
booming_lockup=load('boomingmap_lockup_aktiv.txt');

% laddar boomingbetyg ( öppen lockup )
booming_lockup_passiv=load('boomingmap_lockup_passiv.txt');
%-----
```

```
% Bildata, Saab 9-3 sportsedan.
m=1600; % Massa [kg]
g=9.82; % Tyngdacceleration [m/s2]
ro=1.2; % Luftdensitet [kg/m3]
Cd=0.32; % Bilens strömningskoefficient
A=2.12; % Bilens effektiva frontarea [m2]
fr=0.013; % vägbanans friktionskoefficient
fn=0;

% Hjul
% hjulomkrets data:
% 195/65 R15 Goodyear Eagle = 1.98m
% 215/60 R15 Goodyear Eagle = 1.99m
% 215/60 R15 Michelin Energy = 1.99m
% 215/55 R16 Goodyear Eagle = 2.01m
% 215/55 R16 Michelin MXM4 = 2.01m
% 215/50 R17 Michelin Pilot Primacy = 2.02m
% 225/45 R18 Continental = 2.04m

dh=2.01; % hjulomkrets [m], 215/60 R16 Goodyear Eagle
rh=dh/(2*pi) % hjulradie [m]
Jh=1.2; % tröghetsmoment hjul och drivaxel
Mh_bel=5.0; % förlustmoment hjul och drivaxel

% Differential
Jd=0.01; % tröghetsmoment
Md_bel=1.0; % förlustmoment

% Slutväxel/Mellanväxel
% Automatlåda (FA57)
% utväxlinsförhållande:
% mellan=1.018, slut=2.440, totalt= 2.484
ism=2.484; % total utväxling
Msm_bel1=0.0; % förlustmoment ingående axel (diff.sidan)
Msm_bel2=10.0; % förlustmoment utgående axel (växellådssidan)
Jsm_in=0.096; % tröghetsmoment ingående axel
Jsm_ut=0.070; % tröghetsmoment utgående axel

% växellåda
Mv_bel1=0.0; % förlustmoment ingående axel (slutväxelsidan)
Mv_bel2=5.0; % förlustmoment utgående axel (motorsida)
Jv_in=0.002; % tröghetsmoment ingående axel
Jv_ut=0.096; % tröghetsmoment utgående axel
```

```
% Niclas Karlsson
% Trollhättan 030210
% Examensarbete 10p 02/03
% Manuell modell

% När Simulink manuell modell används,
% skall denna Matlabfil köras först.
% Det görs för att ladda den data som tillhör modellen.

close all
clear all
clc

% laddar accelerationsdata för manuell.
acc=load('acc_440_man5_data.txt');
%-----

% Bildata, Saab 9-3 sportsedan.
m=1600; % Massa [kg]
g=9.82; % Tyngdacceleration [m/s2]
ro=1.2; % Luftdensitet [kg/m3]
Cd=0.32; % Bilens strömningskoefficient
A=2.12; % Bilens effektiva frontarea [m2]
fr=0.013; % vägbanans friktionskoefficient
fn=0;

% Hjul
% hjulomkrets data:
% 195/65 R15 Goodyear Eagle = 1.98m
% 215/60 R15 Goodyear Eagle = 1.99m
% 215/60 R15 Michelin Energy = 1.99m
% 215/55 R16 Goodyear Eagle = 2.01m
% 215/55 R16 Michelin MXM4 = 2.01m
% 215/50 R17 Michelin Pilot Primacy = 2.02m
% 225/45 R18 Continental = 2.04m

dh=2.01; % hjulomkrets [m], 215/60 R16 Goodyear Eagle
rh=dh/(2*pi) % hjulradie [m]
Jh=1.2; % tröghetsmoment hjul och drivaxel
Mh_bel=5.0; % förlustmoment hjul och drivaxel

% Differential
Jd=0.01; % tröghetsmoment
Md_bel=1.0; % förlustmoment
```

% Slutväxel

% utväxlingsförhållande:

% FM57= 3.82 ((9-5,9-3) T7 5vxl

% FM55= 4.048 (9-5,9-3) T7,T8 5vxl

% FM68= 3.91 (9-3) T8 6vxl

is=4.048; % utväxling, FM55

Ms_bel1=0.0; % förlustmoment ingående axel (diff.sidan)

Ms_bel2=5.0; % förlustmoment utgående axel (växelådssidan)

Js_in=0.002; % tröghetsmoment ingående axel

Js_ut=0.005; % tröghetsmoment utgående axel

% växellåda

Mv_bel1=0.0; % förlustmoment ingående axel (slutväxelsidan)

Mv_bel2=3.0; % förlustmoment utgående axel (motorsida)

Jv_in=0.00338; % tröghetsmoment ingående axel

Jv_ut=0.0073; % tröghetsmoment utgående axel

Bilaga B

Accelerationsdata, automat

0.00
-0.05
-0.13
-0.20
-0.27
-0.34
-0.41
-0.48
-0.55
-0.63
-0.70
-0.77
-0.86
-0.93

% Accelerationsdata, 440, automat 5vxl.

% inparameter:

% hastighet[km/h]/10

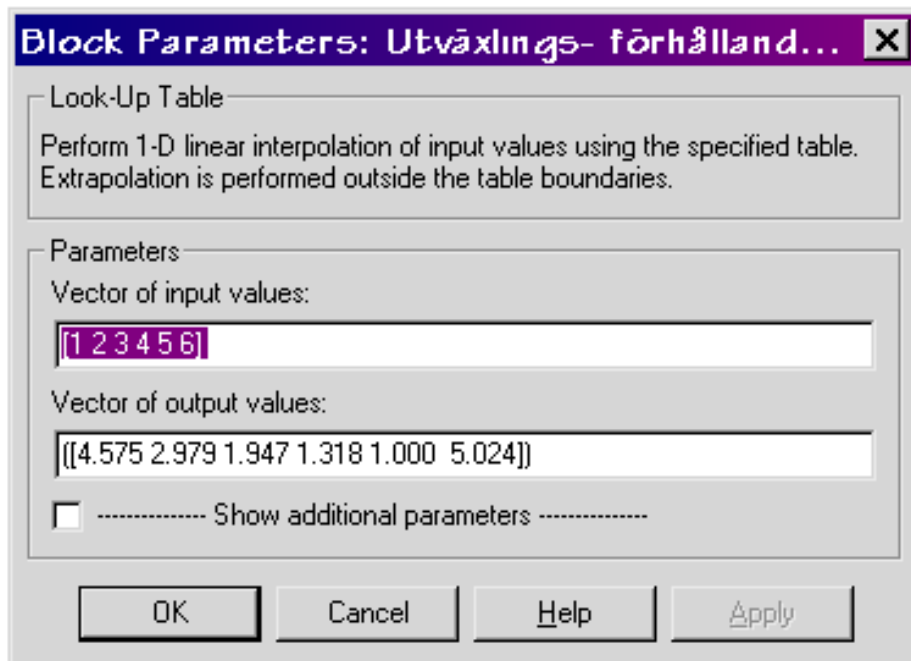
% utparameter:

% acceleration [m/s²]

Bilaga C

Utväxlingsförhållande, 5-vxl automat, FA 57

Vector of input values: växel 1-5; 6 backväxel
Vector of output values: Utväxlingsförhållande



Bilaga D

Momentomvandlardata, $\lambda_{TT}, \mu, \nu, \lambda_{PP}$

-2.275	3.732	1	-31.68
-1.862	2.024	1	-7.627
-1.438	1.543	1	-3.423
-1.140	1.291	1	-1.900
-1.000	1.220	1	-1.500
-0.895	1.173	1	-1.232
-0.693	1.112	1	-0.857
-0.543	1.074	1	-0.626
-0.437	1.054	1	-0.485
-0.356	1.032	1	-0.379
-0.245	1.026	1	-0.258
0.000	1.000	1	0.000
1.293	0.930	1	1.118
2.380	0.890	1	1.885
3.937	0.800	1.095	2.301
4.944	-1.000	1.895	2.609
6.416	0.700	1.205	2.609
10.092	0.600	1.305	2.784
16.068	0.500	1.410	2.849
26.798	0.400	1.505	2.849
50.023	0.300	1.605	2.805
115.515	0.200	1.700	2.718
475.855	0.100	1.795	2.651

```
% momentomv_data=load('momentomvandlare_inkl_lambda_tt.txt');
```

```
% styvhet på turbinsidan(växellådsidan), lambda_tt =momentomv_data(:,1)/1000
```

```
% vinkelhastighetsförhållande, ny= momentomv_data(:,2)
```

```
% momentförhållande, my =momentomv_data(:,3)
```

```
% styvhet på pumpsidan(motorsidan), lamda_pp=momentomv_data(:,4)/1000
```

Bilaga E
Boomingbetyg, ej lockup

7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7

% Boomingbetyg passiv(öppen) lockup
% inparametrar:
% 1.(rad) moment[Nm]/-5
% 2.(kolumn) Rpm[varv/min]/300

% utparametrar:
% betyg

Bilaga G
Bränsleförbrukning

3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4
3.1	6.2	9.2	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3	52.4

% Bränsleförbrukningsdata.
% inparametrar:
% 1.(rad) moment[Nm]/-5
% 2.(kolumn) Rpm[varv/min]/300

% utparametrar:
% bränsleförbrukning [mg/min]

% Bränsleförbrukningsdatan är baserad på beräkningar av minsta mängd, varm motor.
% beräkningen:
% 75mg luft/förbränning,
% 2 förbränningar/varv,
% lambda 1,
% => 2*(75/14.6) mg/varv =>
% bränsleförbrukning [mg/min]=10.274*RPM

Bilaga H
Bränsleförbrukningsbetyg

8
8
8
8
7
7
7
6
6
6
5
5
5
4
4
4
4
4
4
4

% Bränsleförbrukningsbetyg
% inparameter:
% bränsleförbrukning [mg/min]/3
% utparameter:
% betyg (1-10)

Bilaga I
Varvtalsbetyg

0
0
0
0
5
8
8
8
7
7
6
5
5
4
4
0
0
0
0
0

% Betygsättning av varvtal.
% inparameter: RPM varv/min.
% utparameter: betyg 1-10
% rad 1=300rpm, rad 2=600rpm osv, rad 20=6000.

Bilaga J
Accelerationsdata, manuell

-0.7	0.000	0.000	0.000	0.000
-0.75	-0.500	0.000	0.000	0.000
-0.90	-0.550	-0.250	-0.250	0.000
-1.05	-0.575	-0.400	-0.400	-0.225
-1.30	-0.625	-0.400	-0.400	-0.375
-1.60	-0.700	-0.500	-0.450	-0.375
-2.50	-0.770	-0.550	-0.500	-0.400
-2.50	-0.850	-0.600	-0.550	-0.450
-2.50	-1.000	-0.625	-0.575	-0.500
-2.50	-1.250	-0.700	-0.625	-0.525
-2.50	-1.550	-0.775	-0.700	-0.600
-2.50	-1.950	-0.850	-0.750	-0.650
-2.50	-2.500	-0.975	-0.825	-0.725
-2.50	-2.500	-1.100	-0.950	-0.775

% Accelerationsdata, 440, manuell 5vxl.

% inparametrar:

% 1.(rad) hastighet[km/h]/10

% 2.(kolumn) växel

% utparametrar:

% kolumn 1 = 1:an (acceleration [m/s²])

% kolumn 2 = 2:an (acceleration [m/s²])

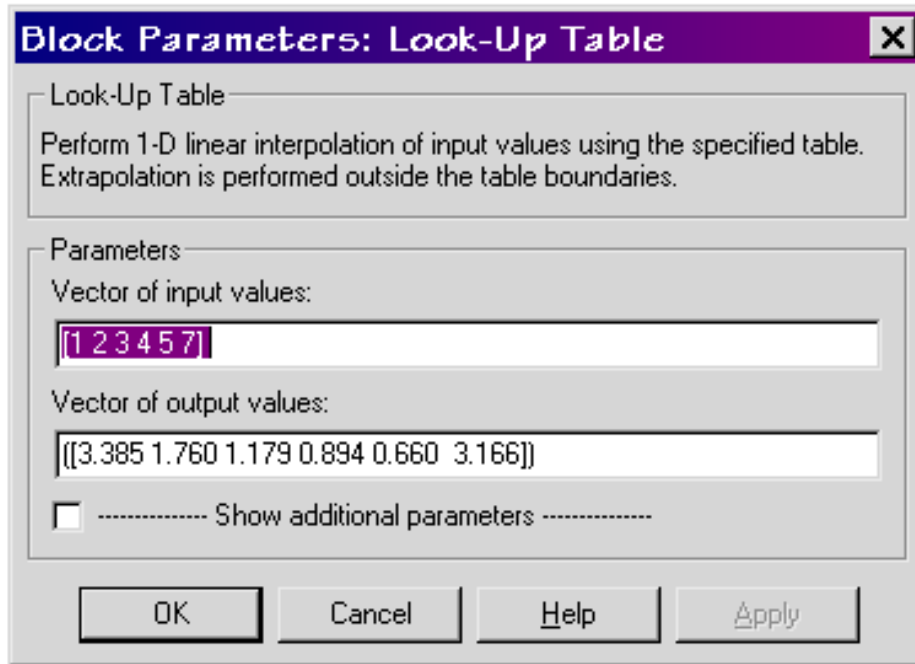
% osv

Bilaga K

Utväxlingsförhållande, 5-vxl manuell

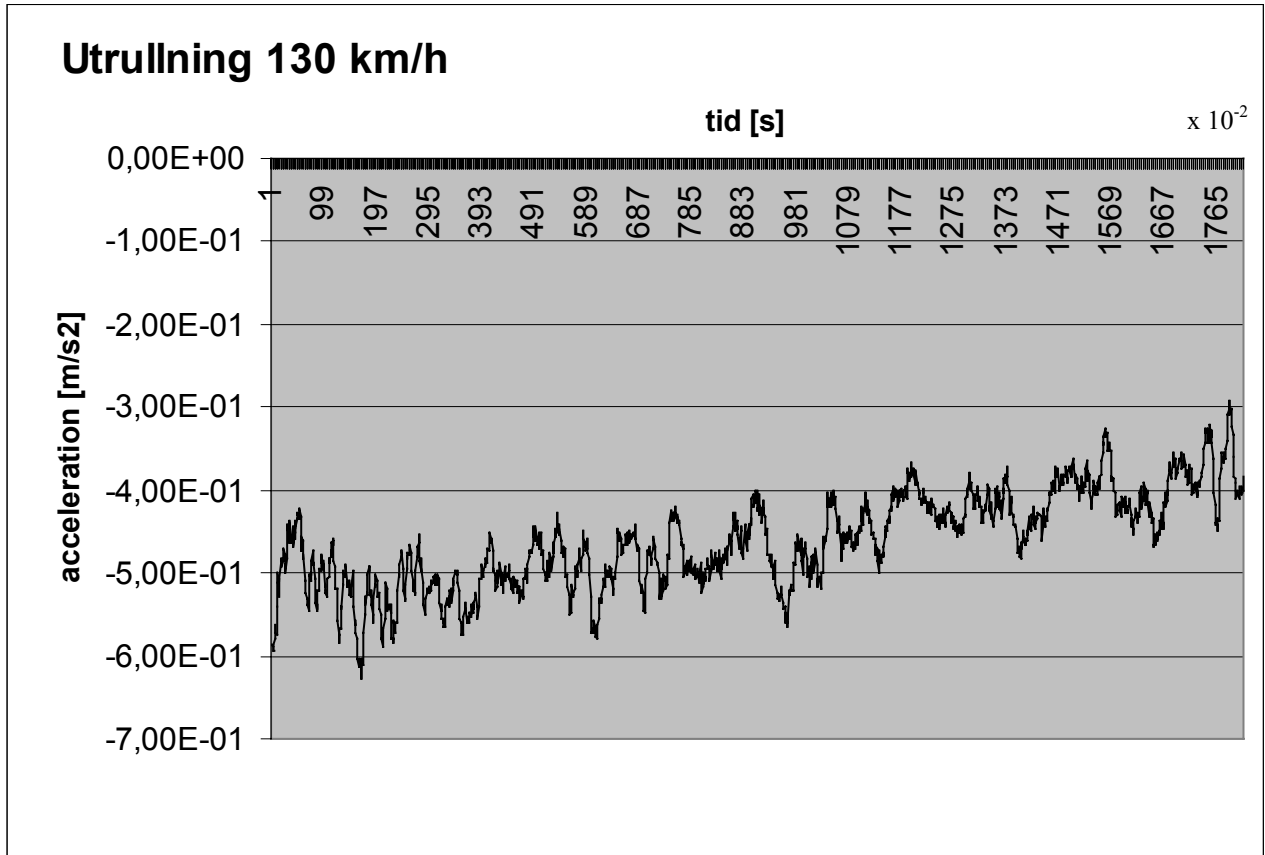
Vector of input values: växel 1-5; 7 backväxel

Vector of output values: Utväxlingsförhållande



Bilaga L

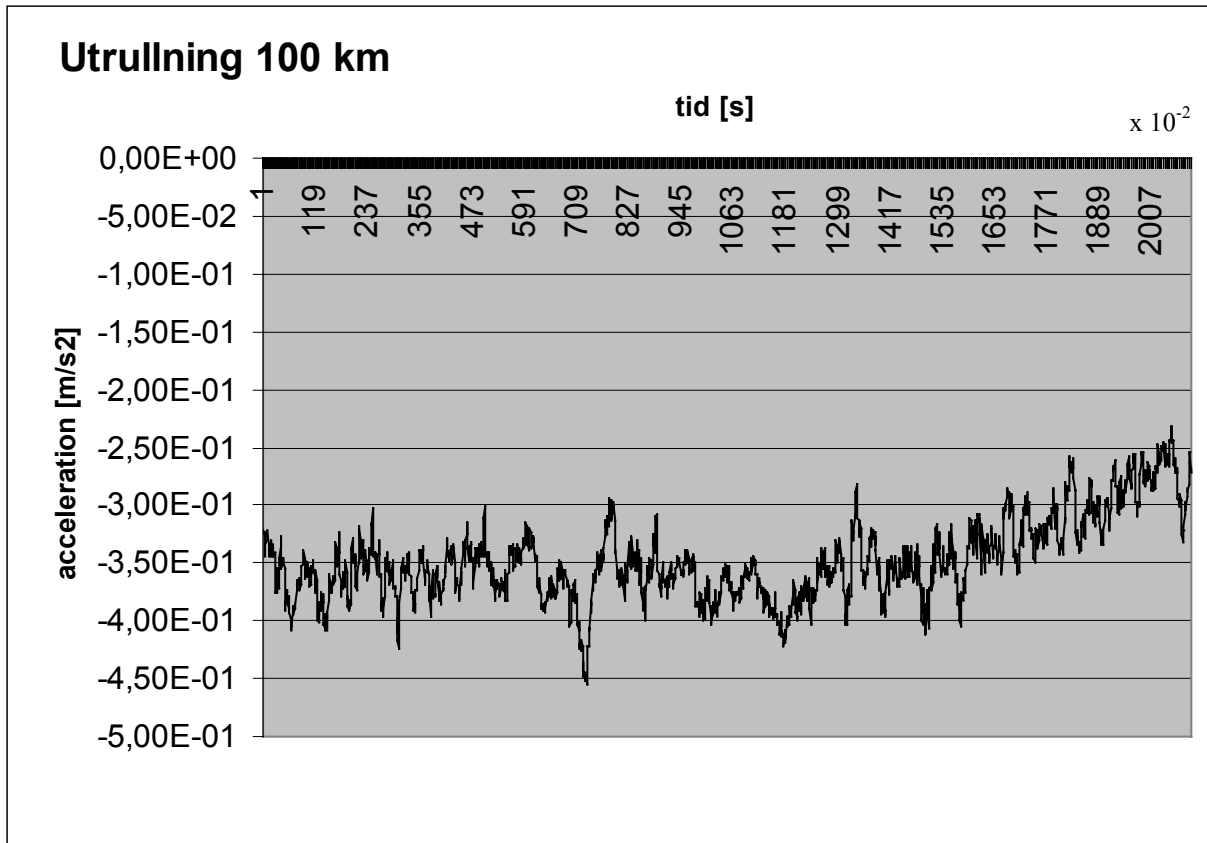
Resultat av accelerationsmätningarna (sida 1/3)



Beräknad acceleration -0.50 m/s^2

Bilaga L

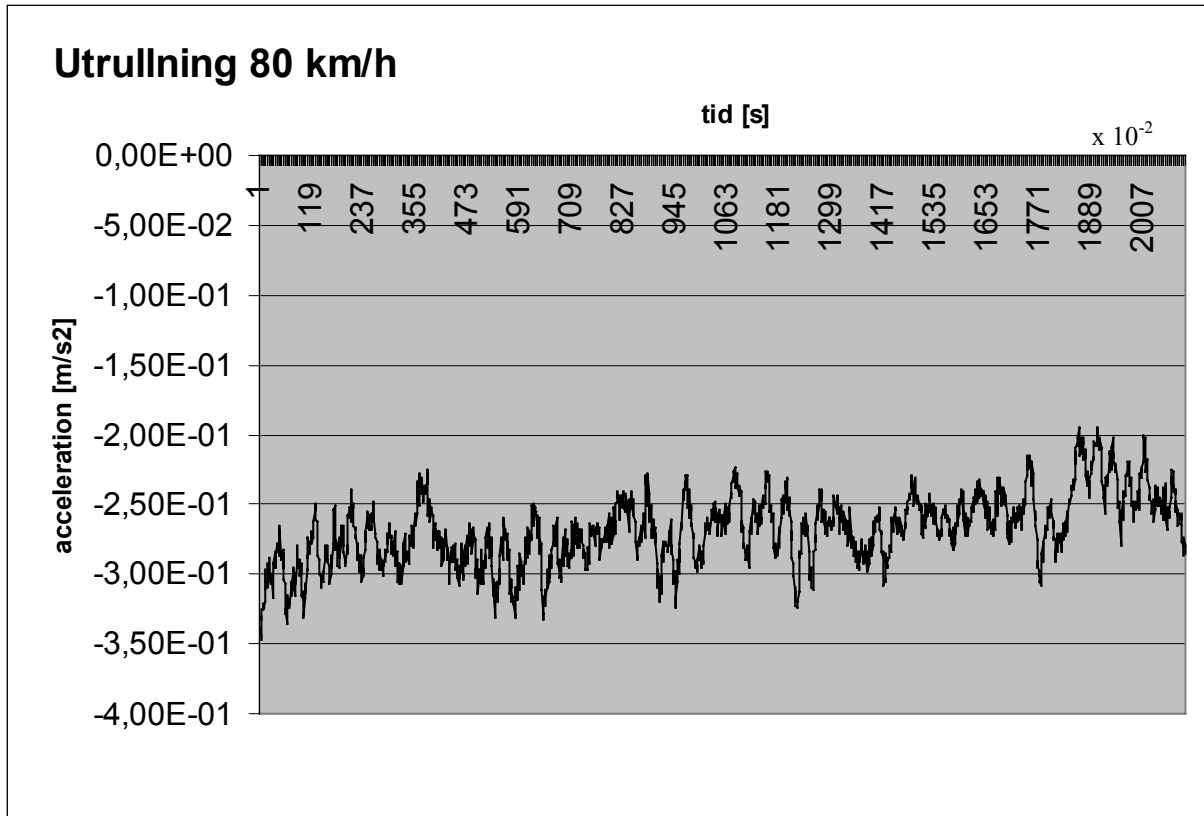
Resultat av accelerationsmätningarna (sida 2/3)



Beräknad acceleration -0.36 m/s^2

Bilaga L

Resultat av accelerationsmätningarna (sida 3/3)



Beräknad acceleration -0.29 m/s^2