

Atte Määttä

Sähköajoneuvon vetoluistoneston toteuttaminen kiihtyvyyssanturia käyttäen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

Päivämäärä 21.5.2014

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Atte Määttä Sähköauton vetoluistoneston toteuttaminen kiihtyvyyssanturia käyttäen 23 sivua + 1 liite 21.5.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Autosähkötekniikka
Ohjaajat	Lehtori Sami Ruotsalainen, Metropolia Ammattikorkeakoulu Diplomi-insinööri Seppo Saarakkala, Aalto yliopisto Insinööri Ville Eskelinen, Metropolia Ammattikorkeakoulu
<p>Tämä insinöörityö tehtiin osana Metropolia Ammattikorkeakoulun induktiivisen latauksen kenttäkoetta. Järjestelmä suunniteltiin ja asennettiin Fiat Doblo konversio-sähköautoon. Työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa autoon vetoluistonestojärjestelmä.</p> <p>Työssä käydään läpi eri vetoluistonestomenetelmiä sekä niiden etuja että haittoja ja ominaisuuksia. Perinteisestä sutimisenestomallista poiketen käytettiin ajoneuvon nopeuden vertailuanturina pelkästään kiihtyvyyssanturia ja ajoneuvon nopeutta estimoitii ohjelmallisesti kiihtyvyyden perusteella. Päätös olla käyttämättä vetämättömän- ja vetävän pyörän nopeuseroa luistonlaskennassa toi työhön uusia haasteita.</p> <p>Varsinainen ohjelmiston suunnittelu suoritettiin MATLAB Simulink-ohjelmointiympäristössä. Vetävän renkaan luiston arviointiin kehitysvaiheessa käytettiin Hans. B. Pacejkan kehittämää renkaan luistomallia. Auton liikkeen mitta-arvoja tallennettiin Dewetron-laitteella. Nopeuden mallintaminen pelkän kiihtyvyyssanturin perusteella osoittautui vaikeaksi, mutta järjestelmä saatiin toimimaan luotettavasti liikkeelle lähdeäessä.</p> <p>Lopputuloksena syntyi toimiva vetoluistonestojärjestelmä. Ohjelmisto rajoittaa vääntömomenttia välittömästi, jos luistoa havaitaan.</p>	
Avainsanat	luisto, kiihtyvyyssanturi, MATLAB, Doblo, kenttättestaus

Author Title Number of Pages Date	Atte Määttä Engineering Electric Vehicle Traction Control System using Accelerometer 23 pages + 1 appendix 21 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Electronics Engineering
Instructors	Sami Ruotsalainen Senior Lecturer Seppo Saarakkala M.Sc. Aalto University Ville Eskelinen Project Manager, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences
<p>This Bachelor's thesis was carried out as a part of the field test of inductive charging Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. The system was designed and implemented to Fiat Doblo electric conversion vehicle. The aim of the work was to design and build a traction control system for the vehicle.</p> <p>The study presents different types of systems that prevent wheel spin and compare negative and positive features of these systems. Differing from traditional traction control systems accelerometer was the only sensor used to compare vehicle speed. The speed of the vehicle was estimated using a program that reads acceleration. The decision not to use the speed difference of the non-powered and pulling wheel when calculating the slip made the work more challenging.</p> <p>The actual designing of the program was implemented in the MATLAB Simulink programming environment. In the development phase, Hans. B. Pacejka's wheel slip model was used to model pulling wheels estimation of slip. Vehicle movement measurements were recorded using Dewetron data acquisition unit. Speed modelling based only accelerometer turned out to be difficult, but it was possible to make the system function reliably when accelerating from standstill.</p> <p>The result was a working traction control system program. The program reduces given torque instantly, if slip is detected.</p>	
Keywords	slip, accelerometer, MATLAB, Doblo

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Fiat Doblo -konversiosähköauto	2
3	Vetoluistonrajoittamismenetelmät	4
3.1	Historia	4
3.2	Vetoluistonrajoitusjärjestelmän toimintaperiaate	4
3.3	Kitkalukko	4
3.4	ABS:n ja moottorinohjauksen kanssa toimiva sutimisenestojärjestelmä	5
3.5	ABS:n, ESP:n ja moottorinohjauksen kanssa toimiva sutimisenesto	5
3.6	Aktiivinen tasauspyörästö	5
3.7	Elektroninen moottorin momenttia rajoittava järjestelmä	5
4	Sutimisenestojärjestelmän mekaaninen suunnittelu	7
4.1	Voimansiirto	8
4.2	Elektrobit 6120 FPGA-mikrokontrolleri	8
4.3	Ajoneuvon massakeskipisteen määrittäminen	8
4.4	Akebono-kiihtyvyyssanturin asennus	10
4.5	Luiston määrittäminen	11
5	Ohjelmiston suunnittelu ja soveltaminen	12
5.1	Kenttätestauslaitteisto	14
5.2	Anturin kalibrointi	14
5.3	Nopeuden estimointi	15
5.4	Renkaan nopeuden laskeminen	15
5.5	Luiston laskeminen	16
5.6	Luiston rajoittaminen	17
5.7	Ohjelman kehittäminen	17
6	Testaus	18
6.1	Kiihdytys soralla vetoluistonesto päälle kytkettynä	19
6.2	Kiihdytys soralla vetoluistonesto pois kytkettynä	20
6.3	Kiihdytys asfaltilla vetoluistonesto päälle kytkettynä	21
7	Yhteenveto ja päätelmät	22
	Lähteet	23

Lyhenteet

ABS	Anti-lock braking system, lukkiutumattomat jarrut
ESP	Electronic stability program, ajonvakautusjärjestelmä
E-RA	Electric RaceAbout
eBUS	eBUS testimuuli
EB	Electrobit

Muuttujat

g	Painovoima
m	Massa
J	Hitausmomentti
F_d	Ajoneuvosimuloinnin ulkoiset vastusvoimat
μ	Kitkakerroin
T_a	Simuloidun moottorin akselin vääntömomentti
v	Nopeus
v_x	Pitkittäisnopeus
v_y	Sivuttaisnopeus
$\frac{dt}{dv}$	Nopeuden aikaderivaatta
$\dot{\varphi}$	Yaw
v_ω	Renkaan pyörintänopeus
Δv	Nopeuden muutos
λ	Luisto
ω_m	Moottorinnopeus
v_{max}	Suurin nopeus
i	Välityssuhde
r	Pyöränsäde
$T_{m,req}$	Annettuvääntömomentti
T_{pedal}	Vääntömomenttipyyntö
k	Takaisinkytkentäkerroin

1 Johdanto

Induktiivisen latauksen kenttäkoe on Metropolia Ammattikorkeakoulun järjestämä projekti, jonka tavoitteena on demonstroida erilaisia saatavilla olevia latausjärjestelmiä ja tutkia niiden käytettävyyttä sekä soveltuvuutta jokapäiväiseen käyttöön.

Tässä projektissa on käytössä kaksi Fiat Doblo -muunnossähköajoneuvoa. Toisessa Fiat Doblossa on käytössä induktiivinen eli langaton latausjärjestelmä, joka mahdollistaa ajoneuvon latauksen ilman kuljettajalta vaadittavia toimenpiteitä. Ajoneuvo pysäköidään niin, että etummainen rekisterikilpi koskettaa latauslaitetta. Kuljettajan sammutettua ajoneuvon alkaa lataus automaattisesti.

Tämän insinööriyön tavoitteena on asentaa, kehittää ja testata Dobloihin soveltuva sutimisenestojärjestelmä. Järjestelmän on voitava rajoittaa kiihdyttävää vääntömomenttia, vähentää voimansiirron rasituksia niin tehojarrutuksissa kuin kiihdyttäessä, estää tahaton pyörien sutiminen, vähentää renkaiden kulumista ja vakauttaa ajamista.

Sähköautojen moottorien vääntömomentti poikkeaa huomattavasti polttomoottorikäyttöisistä. Pieni kaasunpaine pienellä vaihteella saa sähköauton helposti sutimaan, koska lähes kaikki vääntömomentti on käytössä jo pienillä kierrosluvuilla. Doblo oli alun perin varustettu pienellä dieselmoottorilla, eikä sen manuaalivaihteisto ja vetoakseleita ole suunniteltu suurta alavääntömomenttia välittävää sähkömoottoria varten. Doblossa päädyttiin kiihtyvyyssanturia käyttävää moottorin vääntömomenttia ohjelmallisesti rajoittamaan järjestelmään, koska sen toteuttaminen ilman suuria hankintoja oli mahdollista.

Työ aloitettiin ohjelmiston suunnittelulla. Luotiin yksinkertainen auton pitkittäiskiihtyvyyttä ja luistoa simuloiva MATLAB Simulink-malli, jolla pystyttiin kokeilemaan erilaisia luistonrajoitusmalleja. Kun kiihtyvyyssanturi oli asennettu ja mitta-arvot luettu, voitiin aloittaa kenttätestausvaihe.

2 Fiat Doblo -konversiosähköauto

Fiat Doblo -sähköautokonversio on osa Metropolia AMK:n sähköautoprojektien Induktiivisen latauksen kenttäkoetta. Metropolia AMK hankki Fortum Oyj:ltä kaksi autoa vuonna 2010. Alun perin autot oli muunnettu sähkökäyttöisiksi Italiassa Micro-Vett-nimisen yrityksen toimesta. Yksi Italialaisista autoista paloi 2009.

Vuonna 2012 autojen muunnostyö aloitettiin Metropolia AMK:ssa. Autoista purettiin pois vanha akusto, akunhallintajärjestelmä, vaihtosuuntaaja ja elektroniikan ohjausjärjestelmä, minkä jälkeen suunniteltiin ja asennettiin uudet järjestelmät. Työ suoritettiin opiskelijavoimin. Projektin tarkoituksena on tutkia induktiivisen latauslaitteen sekä muiden vaihtoehtoisten latauslaitteiden soveltuvuutta sähköautoihin käytännössä.

Molemmilla Dobloilla on European Batteriesin valmistamat akustot ja akunhallintajärjestelmä. Akuston kapasiteetti on 28 kWh ja jännite 307 V. Ajoneuvoissa on useita eri latausvaihtoehtoja. Nopein on CHAdeMO-standardin mukainen pikalatausjärjestelmä, jossa lataus suoritetaan 20 kW:n teholla (kuva 1). Pikalatauslaitteeseen vaatii kuitenkin erillisen latausaseman ja kolmivaihevirta pistokkeen 32-ampeerin sulakkeella. Suoraan tavallisesta verkkopistokkeesta toimiva Efore Oyj:n valmistama hidaslatausjärjestelmä kytetään Defan lohkolämmityskäyttöön valmistamalla johdolla 16-ampeerin pistokkeeseen. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää Mennekes-liitäntää, jonka kautta ajoneuvo kytketään kolmivaihevirtaan. Toinen Doblo on varustettu Leopold Kostal GmbH:n valmistamalla induktiivisella eli langattomalla latausjärjestelmällä. Akuston täysi lataus kestää kahdesta kahteentoista tuntia riippuen käytettävästä lataustekniikasta ja akkujen lämpötilasta. Toimintamatka täysillä akuilla on noin 100 km. Moottorin huipputeho on hetkellisesti 60 kW ja suurin vääntömomentti on hetkellisesti 260 Nm. Sähkömoottori tuottaa vääntömomenttia tasaisesti nimellispyörintänopeuteen 2200 rpm asti. Autoissa on alkuperäinen 5-vaihteinen manuaalivaihteisto. Auton vetävät pyörät sijaitsevat etuakselilla. Kytkintä käytetään vain, jos halutaan vaihtaa vaihdetta ajoneuvon liikkuessa.



Kuva 1. Fiat Doblo pikalatauksessa CHAdeMO-standardin mukaisella pikalatauslaitteella

3 Vetoluistonrajoittamismenetelmät

3.1 Historia

Varhaisin vetoluiston estämistapa oli asentaa autoon kitkalukolla varustettu tasauspyörästö. Ensimmäinen älyllinen vetoluistonestojärjestelmä oli Buick MaxTrac mallissa, jossa takapyörien pyörintänopeuseroa seurattiin alkeellisella tietokoneella ja moottorin vääntömomenttia rajoitettiin katkomalla sytytystä. [1]

3.2 Vetoluistonrajoitusjärjestelmän toimintaperiaate

Vetoluistonestojärjestelmä rajoittaa vetävien pyörien sutimista. Pyörän ylittäessä lepo-kitkarajan pyrkivät järjestelmät hallitsemaan tilannetta. Osa järjestelmistä pyrkii siirtämään voimaa paremmin pitävälle vetävälle pyörälle, kun taas osa siirtää vetäville pyörille aina mahdollisimman samansuuruisen voiman kaikissa ajotilanteissa. Tavallisen tasauspyörästön ongelma on, että vääntömomenttia välittyy samansuuruinen määrä molemmille pyörille. Toisen renkaan ollessa liukkaalla pinnalla ja toisen pitävällä, rajoittuu pitävän renkaan momentti samaksi, kuin sutivan renkaan. Pyörintänopeus kasvaa suureksi ja tasauspyörästö kiihdyttää sutivaa pyörää, eikä rengastehoa saada siirrettyä pitävälle pyörälle. Vetoluistonestojärjestelmät pyrkivät estämään tai vähentämään tätä ilmiötä. Aktiivisissa järjestelmissä tietokone laskee aina vertailunopeuden vetäville pyörille kiihtyvyyksanturilta tai toiselta pyörältä.

3.3 Kitkalukko

Kitkalukolla varustetussa järjestelmässä tasauspyörästöön on integroitu mekaaninen järjestelmä joka estää pyörien keskinäisen pyörintänopeuseron kasvamisen liian suureksi. Yleinen haittavaikutus on suurentunut kääntösäde varsinkin, jos lukko on etuakselilla. Muita haittoja ovat renkaiden kuluminen, polttoaineen kulutuksen kasvaminen ja aliohjaus. Tällaisia järjestelmiä on yleensä vain tehokkaissa takavetoisissa autoissa, kuten BMW M3.

3.4 ABS:n ja moottorinohjauksen kanssa toimiva sutimisenestojärjestelmä

Järjestelmä vertaa pyörien pyörintänopeustietoa joka saadaan ABS-järjestelmän hammaskehiltä jokaiselta renkaalta. Tietoa vertaamalla kaikkiin pyöriin voidaan päätellä, pyöriikö jokin rengas muita nopeammin. Nopeammin pyörivää pyörää voidaan jarruttaa ja tehoa vähentää. [2]

3.5 ABS:n, ESP:n ja moottorinohjauksen kanssa toimiva sutimisenesto

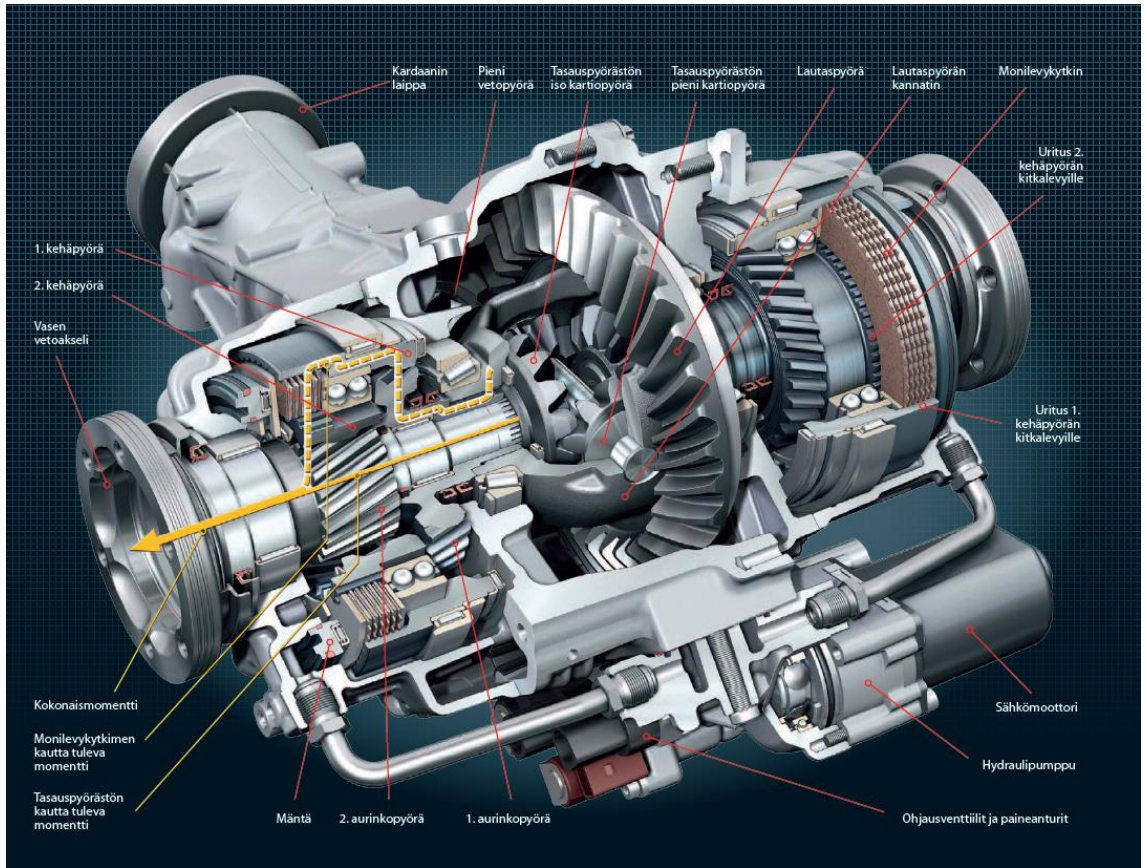
Tietokone seuraa ajoneuvon pyörien nopeutta ABS-hammaskehien ja kiihtyvyyssanturin avulla. Luisto voidaan tunnistaa jo sen alkaessa, koska on käytössä useita renkaanluiston vertailuarvoja. Voiman rajoittamista voidaan hoitaa tarkemmin tai poistaa rajoitus lähes kokonaan. Nelivetoisessa ajoneuvoissa kiihtyvyyssanturi on välttämätön, koska kaikki pyörät voivat menettää pidon eikä vertailunopeustietoa voida enää lukea luotettavasti ABS-hammaskehiltä. Osaon järjestelmiä on myös integroitu aktiivinen tasauspyörästä.[3]

3.6 Aktiivinen tasauspyörästä

Järjestelmä seuraa yksittäisten renkaiden luistoa ja tarvittaessa lisää tasauspyörästä voimaa paremmin pitävälle pyörälle. Mekaanisessa järjestelmässä on rajallinen tehonsiirron hallintakyky. Aktiivisen tasauspyörästäön suurin etu on mahdollisuus yliohtata ajoneuvoa, jolloin se kääntyy paremmin kaarteeseen (kuva 2). [4]

3.7 Elektroninen moottorin momenttia rajoittava järjestelmä

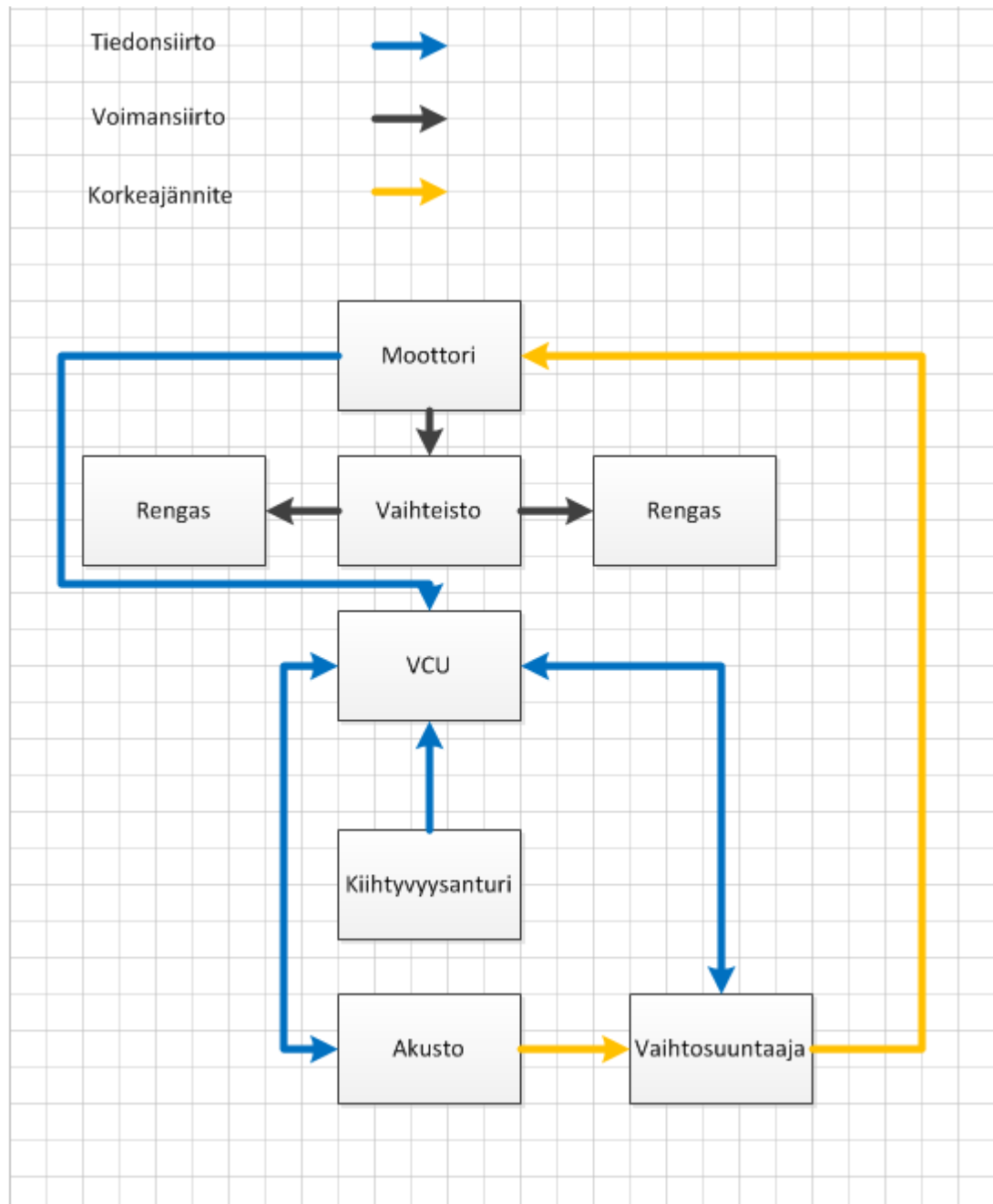
Järjestelmä laskee arvion luiston määrästä kiihtyvyyssanturin ja moottorin kierrosluvun sekä välityssuhteen perusteella. Moottorin momenttia rajoitetaan jos luistoestimaattori tunnistaa asetetun luiston rajan ylittyneen. Doblossa päädyttiin käyttämään elektronista järjestelmää, koska sen toteuttaminen ilman suuria hankintoja oli mahdollista.



Kuva 2. Aktiivinen taseuspyörästö [4]

4 Sutimisenestojärjestelmän mekaaninen suunnittelu

Työssä päädyttiin käyttämään sähkömoottorin tehoa rajoittavaa järjestelmää. Tällaisen järjestelmän toteutus sähköautoon on rakenteeltaan yksinkertainen (kuva 3).



Kuva 3. Doblon yksinkertaistettu voimansiirron kaavio

4.1 Voimansiirto

Akustoon varattu sähköenergia muunnetaan vaihtosuuntaajan avulla sähkömoottorin akselin vääntömomentiksi, jonka ohjearvo saadaan kaasupolkimelta.

Doblossa voima välittyy moottorilta suoraan kytkimelle. 5-vaihteinen manuaalivaihteisto välittää voiman vetoakseleille ja vetoakselit renkailla.

4.2 Elektrobit 6120 FPGA-mikrokontrolleri

Electrobit Oyj:n valmistama mikrokontrolleri ohjaa kaikkia auton ajamiseen liittyviä kriittisiä järjestelmiä. Se kerää tietoa muilta laitteilta ja ohjaa niitä. Ohjelma toteutetaan Matlab Simulink-ympäristössä ja se käännetään suoraan ohjainlaitteelle ladattavissa olevaan muotoon. Ohjelmiston muutoksia voidaan tehdä Simulink-malliin samalla tietokoneella, jolloin ohjelmiston kehittäminen kentällä on helppoa.

4.3 Ajoneuvon massakeskipisteen määrittäminen

Työssä käytetyn ajoneuvon massakeskipiste tuli määrittää jotta kiihtyvyyssanturi voidaan sijoittaa auton pyörähdyskeskiöön. Ajoneuvon sivuttaiskiihtyvyyttä sekä yaw-arvoa ei muuten voida lukea luotettavasti. Massakeskipiste määritettiin punnitsemalla jokainen rengas samaan aikaan käyttäen IntercompRacingin valmistamaa renkaiden alle sijoitettavaa langatonta mittasarjaa (kuva 4). Akseliväli on 2583 mm. Ajoneuvon oikean ja vasemman laidan massaerotus oli niin pieni, ettei ollut järkevää huomioida sitä laskelmissa.

Ajoneuvon massa etu- ja taka-akseli:

$$VT + OT + VE + OE = 1812kg$$

$$VT + OT = 999kg$$

$$VE + OE = 813kg$$

Taka-akselin massan prosentuaalinen osuus:

$$\frac{999kg}{1812kg} = 0.551 \dots \%$$

Etuakselin massan prosentuaalinen osuus:

$$\frac{813kg}{1812kg} = 0.449 \dots \%$$

Massakeskipiste taka-akselin keskiöstä eteenpäin mitattuna on:

$$2583 * 0.449 = 1158.9mm$$



Kuva 4. Fiat Doblon massakeskipisteen määrittäminen

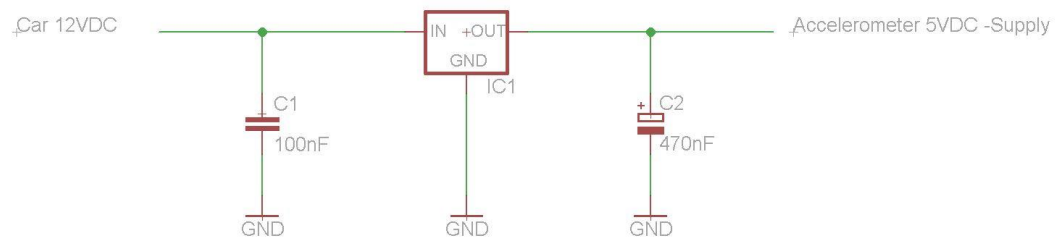
4.4 Akebono-kiihtyvyyssanturin asennus

Kiihtyvyyssanturi asennettiin kuljettajan ja etumatkustajan välissä olevaan muovikehykseen käsijarrun taakse (kuva 5). Anturille suunniteltiin kiinnike Catia-mallinnusohjelmalla.



Kuva 5. Kiihtyvyyssanturin asennus

Anturin virran saanti taattiin rakentamalla 5 voltin regulaattori (kuva 6).



Kuva 6. Regulaattori

4.5 Luiston määrittäminen

Auton vetoluistoa voidaan rajoittaa vain, jos tiedetään autosta kaksi eri nopeutta. Kahta eri nopeutta verrataan keskenään. Jos havaitaan, että moottorilta tuleva signaali eli vetävän renkaan pyörän nopeus on suurempi kuin vertailunopeus, tapahtuu luistoa. Moottori pyörittää vetäviä pyöriä nopeammin kuin ajoneuvo liikkuu. Vertailunopeus luetaan yleensä etuvetoisessa autossa takarenkailta. Tässä työssä vertailunopeus kuitenkin laskettiin kiihtyvyyssanturin antamien kiihtyvyyssarvojen perusteella.

5 Ohjelmiston suunnittelu ja soveltaminen

Ajoneuvon voimansiirtoa ohjaava Elektrobit ohjelmisto voidaan luoda MatLab Simulink-ohjelmointiympäristössä. Tämän takia oli luonnollista, että luistoin rajoituksen ohjelmointi aloitettiin Matlab-ohjelmistolla. Suunniteltiin yksinkertainen ajoneuvon pitkittäisdynamiikan simulointimalli, jonka avulla pystyttiin testaamaan erilaisia luistonrajoitusmalleja. Toimivasta mallista saatiin tuloksia (kuva 7 ja 8.).

Moottorin akselilla oleva nopeus:

$$\frac{J}{i^2} = T_a - F_d \frac{r}{i} \quad (1)$$

Ajoneuvon koria mallinnetaan yksinkertaisesti:

$$m * \frac{dv}{dt} = F_d \quad (2)$$

Renkaan pitkittäisvoima tasaisella alustalla:

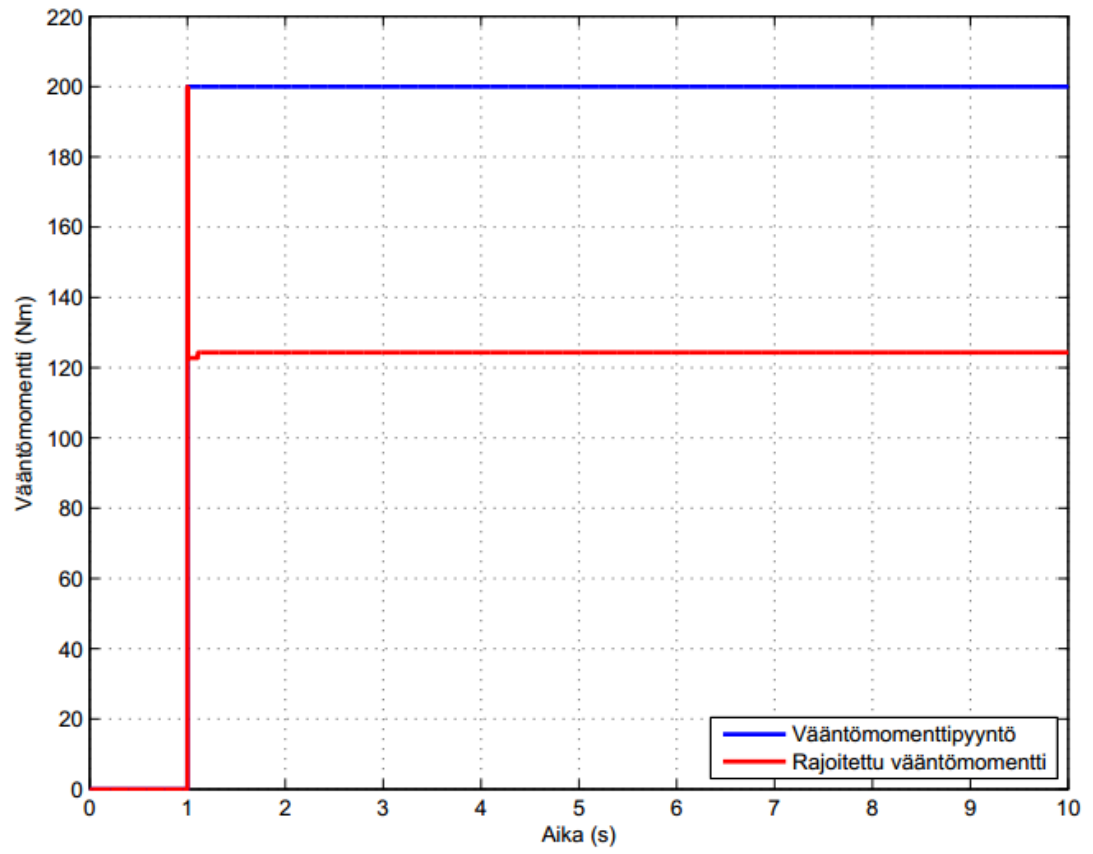
$$F_d = \mu(\lambda) * m * g \quad (3)$$

Jossa luisto määritetään seuraavasti:

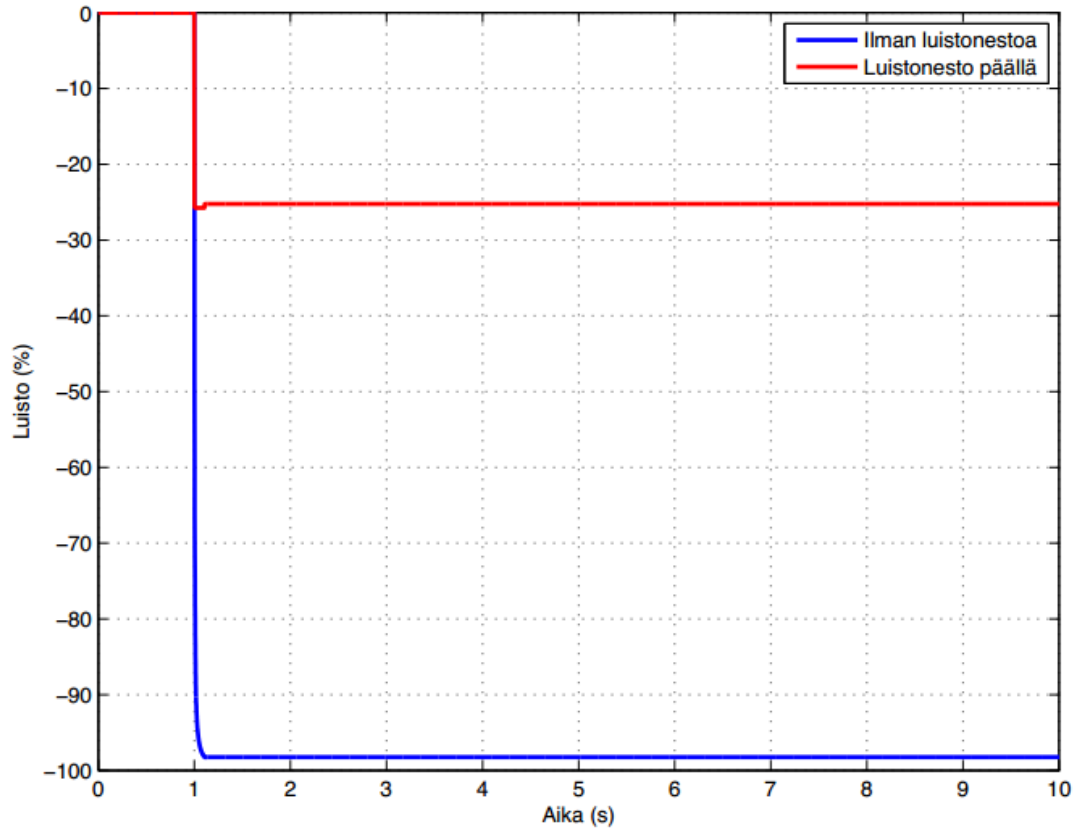
$$\lambda = \frac{v\omega - v}{\max(v, \frac{\omega m * r}{i})} \quad (4)$$

Renkaan mallintamisessa käytettiin Pacejka mallin [5, s.101-113.] mukaista kitkakertoimenlaskenta mallia. Pacejka malli on määritetty matemaattisesti seuraavasti:

$$\mu(\lambda) = D \sin(C \arctan(B\lambda - \arctan(B\lambda))) \quad (5)$$



Kuva 7. Matlab-simulointi vääntömomentinrajoitus



Kuva 8. Matlab-simulointi luistonrajoitus

5.1 Kenttätestauslaitteisto

Kenttätestauksessa apuna oli Dewetron GmbH:n valmistama Dewetron 201 -monitorointilaitte. Laitteella pystytään tallentamaan tietoa CAN-väylästä sekä analogisilta että digitaalisilta signaalituloilta. Tietoa pystytään käsittelemään jälkikäteen omalla tietokoneella Dewesoft-ohjelmistolla.

5.2 Anturin kalibrointi

Akebono kiihtyvyyssanturi kalibroitiin käyttäen Dewetron laitetta. Ensin määritettiin sivuttaiskiihtyvyys, pitkittäiskiihtyvyys ja yaw. Koska tavoitteena oli saada ensin toimiva vetoluiston esto, luettiin kalibrointi-arvot vain pitkittäiskiihtyvyydelle, muut arvot laskettiin datalehdien perusteella liitteestä 1. Anturi käännettiin suoraan vaakatasossa olevalle pinnalle vuorotellen molemmin puolin, jolloin saatiin luettua arvot joilla pitkittäiskiihtyvyys on maan vetovoima eli 1g ja -1g. Nämä arvot sijoitettiin MatLabin lookuptable funktioon.

5.3 Nopeuden estimointi

Lookuptablesta saatavilla arvoilla pystyttiin laskemaan kiihtyvyys ja hidastuvuus. Järjestelmä toimi kiihdyttäessä ja jarruttaessa kun ajettiin suoraan eteenpäin. Sivuttaiskiihtyvyyden ja yaw-arvot luettiin anturin valmistajan datalehdessä.

Ohjelmiston testaus kentällä aloitettiin nopeuden estimoinnin toiminnalliseksi saattamisella.

Ajoneuvon nopeus voidaan laskea pitkittäiskiihtyvyyden a_x ja poikittaiskiihtyvyyden a_y avulla:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}, \quad (6)$$

jossa pitkittäis- ja sivuttaisnopeudet v_x ja v_y on laskettu numeerisina integraaleina yhtälöistä 7 ja 8:

$$\frac{dv_x}{dt} = a_x - \dot{\phi}v_y \quad (7)$$

$$\frac{dv_y}{dt} = a_y + \dot{\phi}v_x \quad (8)$$

5.4 Renkaan nopeuden laskeminen

Jotta voidaan laskea renkaan nopeus, on tiedettävä sekä moottorin pyörintänopeus että lopullinen välityssuhde. Moottori asetettiin pyörimään tasanopeutta auton ollessa nosturilla ja renkaan pyörintänopeuden perusteella laskettiin välityssuhde 2-vaihteelle, joka on pääajovaihte Doblolla kaupunkiajossa. Koska Doblolla ei ole vaihteanturia, oli valittava yksi vaihte, jonka välityssuhde lasketaan. Välityssuhteen perusteella pystyttiin laskemaan pyörän nopeus.

Pyörännopeus on jossa i on välityssuhde, ω_m on moottorin nopeus ja r on pyöränsäde:

$$v_\omega = \frac{r \cdot \omega_m}{i} \quad (9)$$

5.5 Luiston laskeminen

Nopeusero on:

$$\Delta v = v_{\omega} - v \quad (10)$$

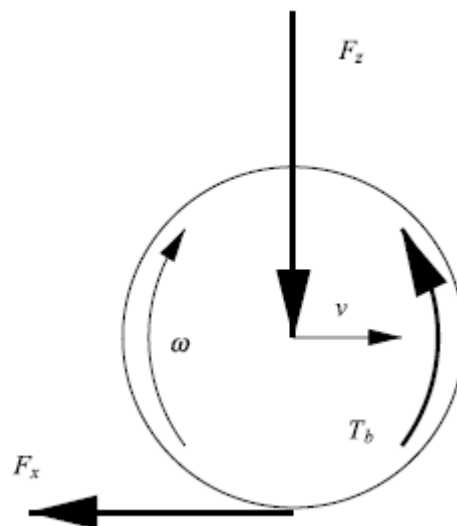
Pyörän nopeuden ollessa tunnettu arvo, pystyttiin renkaan luistoarvio laskemaan käyttäen pyöränliikemallia (kuva 9). Renkaan pyörintänopeuden ollessa suurempi kuin kiihtyvyydestä laskettu nopeus, rengas luistaa (10).

Luisto λ voidaan laskea:

$$\lambda = \frac{\Delta v * 100\%}{v_{max}} \quad (11)$$

Suurin nopeus lasketaan:

$$v_{max} = \max(v_1 v_{\omega}) \quad (12)$$



Kuva 9. Renkaan liikemalli

5.6 Luiston rajoittaminen

Luistonlaskentaohjelma suoritetaan Electrobit ohjainlaitteessa, joka ohjaa lähes kaikkia auton kriittisiä järjestelmiä, kuten moottorin tehon säätöä. Luisto asetettiin saamaan arvoja välillä -100 % - 0 %. -100 %:n arvo tarkoittaa suurinta luistoa. Tehon säätö toimii välillä 0 - 100 %, joten vääntömomenttia rajoitetaan luiston määrän mukaan. Pieni luiston määrä sallitaan eivätkä renkaat tällöin vielä sudi (13).

$$T_{m,req} = T_{pedal} - k * \lambda \quad (13)$$

5.7 Ohjelman kehittäminen

Luistonrajoituksen määrään ja aloituspisteeseen kehitettiin testausvaiheen aikana paljon muutoksia. Ongelmia oli niin luiston, kuin nopeudenkin laskennassa. Pahin ongelma oli nopeuden kertyminen. Ongelmaa rajoitettiin luomalla sääntöjä, jolloin luistoa ei lasketa. Myös nopeuden laskennalle jouduttiin tekemään useita ehtorakenteita. Moottorin pyörintänopeustiedon 500 millisekunnin viive oli myös huomattava ongelma. Auto ja moottori olivat jo selvästi pysähtyneet, mutta ohjainlaitteet luulivat vielä auton liikkuvan. Hidastaessa nopeutta sama ongelma esiintyi jälleen. CAN-väylään tulevan tiedon mukaan auto vielä kiihtyi vaikka hidastuminen oli alkanut jo selvästi. ABB:n-ohjainlaitteesta löytyi kuitenkin asetus, jolla viive saatiin pienennettyä alle kymmeneen millisekuntiin, eikä se ollut enää merkittävä.

6 Testaus

Testipaikkana toimi Hernesaaren ranta ja Hernesaaren rannan pysäköintikenttä. Testivaiheen alussa havaittiin, että vertailunopeuden lukeminen taka-akselille sijoitetusta nopeusanturista olisi helpottanut huomattavasti nopeuden mittaamista. Nopeus saatiin kuitenkin arvioitua yllättävän tarkasti ottaen huomioon, että sen laskemiseen käytettiin vain ajoneuvon kiihtyvyydestieto. Myöhemmin nopeusestimaattoriin lisättiin korjausehto, joka korjaa arvionopeuden moottorin nopeuden perusteella silloin, kun luistoa ei esiinny ja ajoneuvo liikkuu tasaisesti. Järjestelmään tehtiin useita ehtolauseita, jotta luistonrajoitus ei kytkeytyisi päälle turhaan.

Järjestelmän toimintaa tutkittiin kiihdytystesteillä erilaisilla alustoilla.

Vihreä = luiston arvo, akseli käännetty ylösalaisin koska saa negatiivisia arvoja

Punainen = moottorin kierrosluku, ohjelma ei pystynyt lukemaan yli 3276,5 rpm arvoja

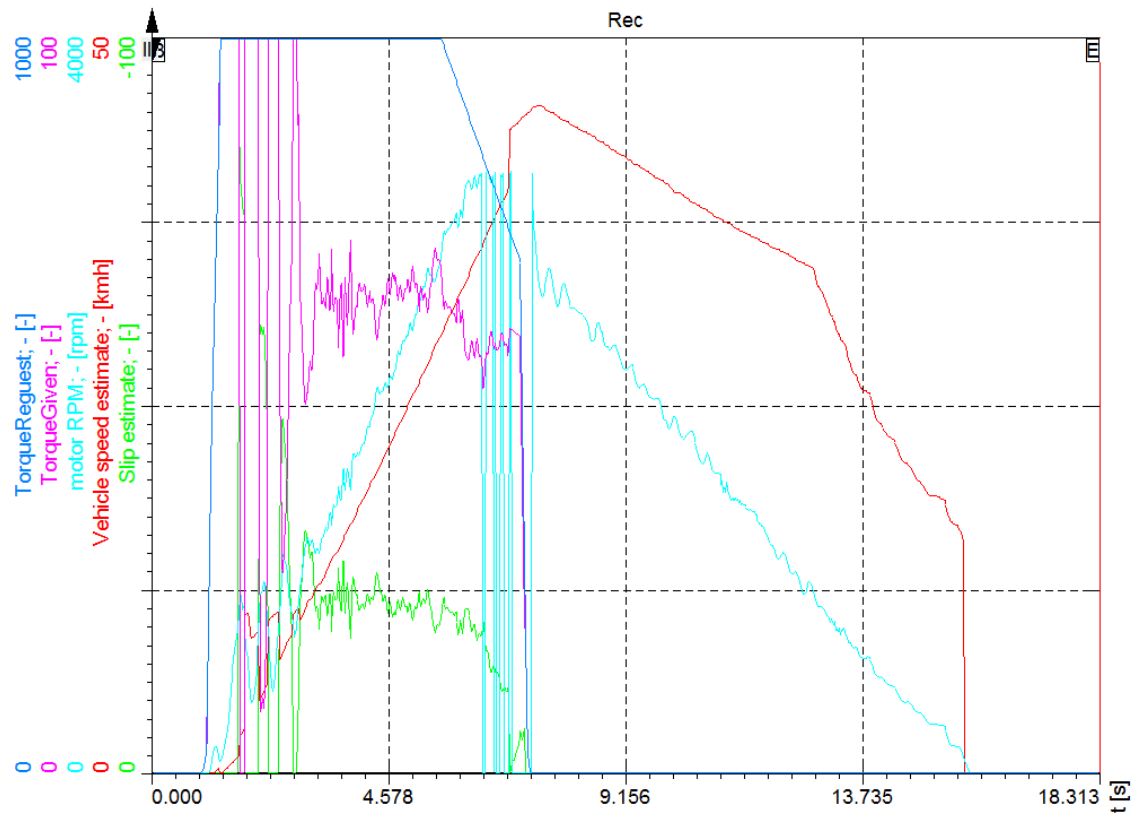
Syaani = nopeusarvio

Sininen = vääntömomenttipyyntö

Violetti/vaaleanpunainen = annettu vääntömomentti

6.1 Kiihdytys soralla vetoluistonesto päälle kytkettynä

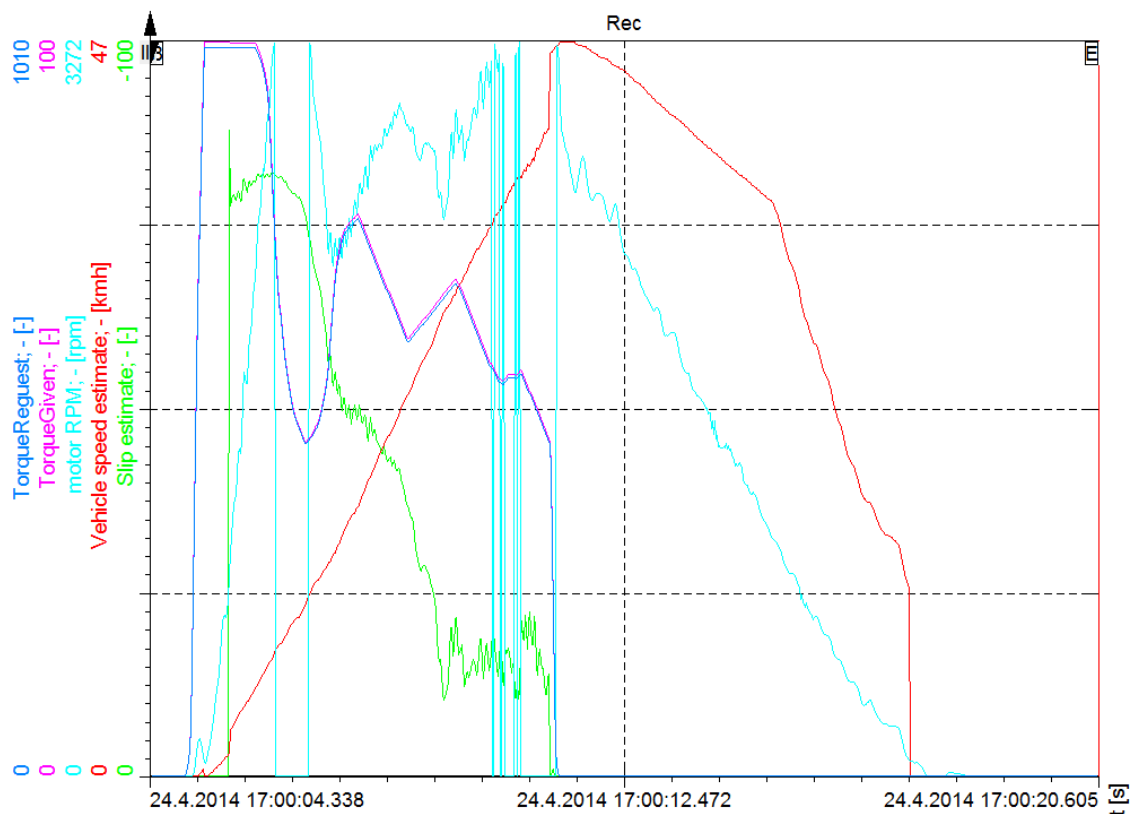
Ajoneuvolla kiihdytetään kaasupoljin pohjassa. Järjestelmä rajoittaa vääntömomenttia heti, kun se havaitsee luistoa. Ajoneuvo kiihtyy hyvin, ja järjestelmä sallii hiukan luistoa, mutta rajoittaa selkeästi moottorin tehoa eikä auto sudi voimakkaasti. Ajoneuvon saavuttaessa noin nopeuden 40 km/h hellitetään kaasupoljinta, niin että nopeus tasaantuu. Lopuksi ajoneuvo pysäytetään kevyesti jarruttaen. (Kuva 10.)



Kuva 10. Sora 2-vaihte sutimisenesto, päällä ja täyskaasu

6.2 Kiihdytys soralla vetoluistonesto pois kytkettynä

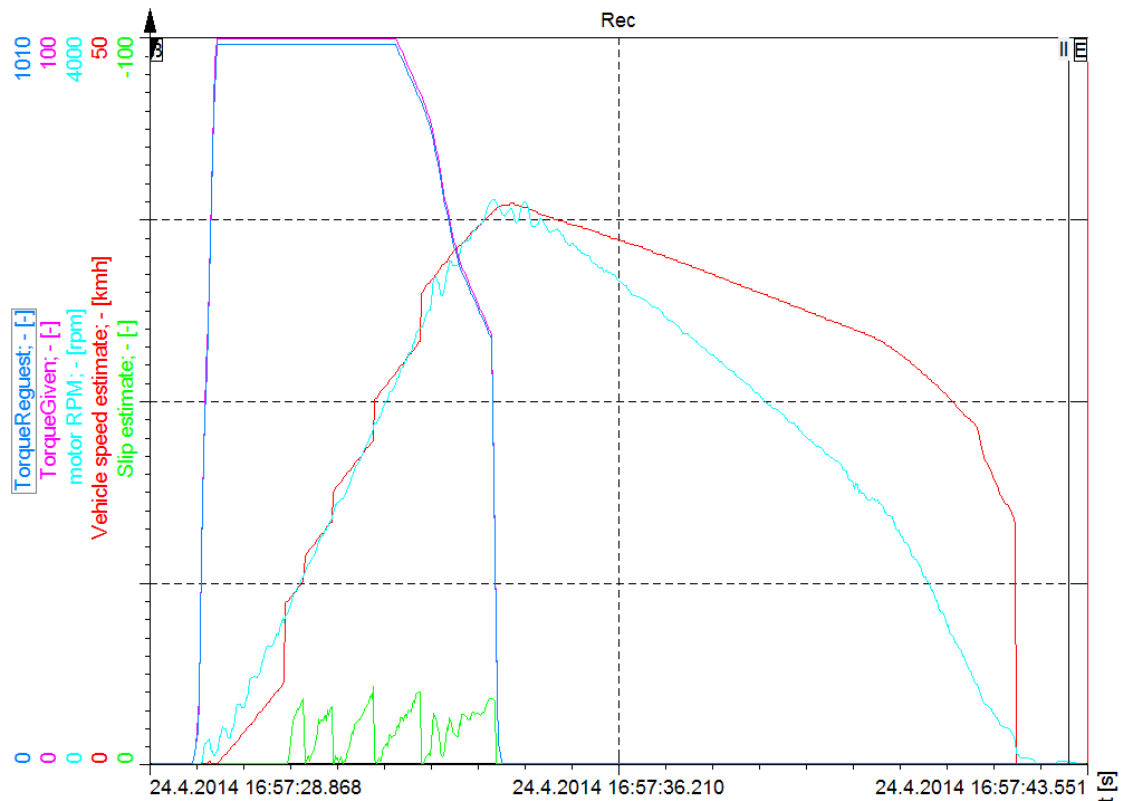
Ajoneuvolla kiihdytetään kaasupoljin pohjassa. Täyskaasukiihdytys soralla ilman sutimisen estoa aiheuttaa renkaiden voimakasta sutimista. Moottorin kierrosluku ylittää tunnistimen rajan kesken kiihdytyksen. Vääntömomenttia joudutaan rajoittamaan kaasupolkimella, mikä ilmenee loivana aaltoliikkeenä. Ajoneuvon saavuttaessa nopeuden noin 40 km/h hellitetään kaasupoljinta, niin että nopeus tasaantuu. Lopuksi ajoneuvo pysäytetään kevyesti jarruttaen. (Kuva 11.)



Kuva 11. 2-vaihte sutimisenesto pois päältä, osakaasu ja sorapinta

6.3 Kiihdytys asfaltilla vetoluistonesto päälle kytkettynä

Kuvassa 12 on esitetty tuloksia tilanteesta, jossa ajoneuvolla kiihdytetään asfaltilla. Vä-
häistä luistoa havaitaan, mutta tehoa ei rajoiteta. Auto kiihtyy täysin vastaavasti kuin jär-
jestelmä pois kytkettynä. Järjestelmän päälläoloa ei huomaa, mikä oli tavoitteena. Ajo-
neuvon saavuttaessa noin nopeuden 40 km/h hellitetään kaasupoljinta, niin että nopeus
tasaantuu. Lopuksi ajoneuvo pysäytetään kevyesti jarruttaen. (Kuva 12.)



Kuva 12. Asfaltti 2-vaihte sutimisenesto päällä, täyskaasu

7 Yhteenveto ja päätelmät

Työssä toteutettiin toimiva vetoluistonestojärjestelmä käyttäen ajoneuvon nopeudenlaskentaan kiihtyvyyssanturin tietoa yleisesti käytetyn pyörännopeusanturin sijaan. Ajoneuvon asennettiin kiihtyvyyssanturi. Anturilta tulevaa tietoa luettiin Electrobit-ohjainlaitteella. Ohjelmisto suunniteltiin MATLAB Simulink-ohjelmointiympäristössä ja käännettiin suoraan ajoneuvonohjainlaitteelle.

Järjestelmä saatiin toimimaan luotettavasti soralla ja asfaltilla. Jos renkaan sutimista esiintyy, järjestelmä rajoittaa vääntömomenttipyyntöä välittömästi ja pehmeästi

Ongelmaksi jäi luistonrajoitus voimakkaan sivuttaiskiihtyvyyden aikana. Ongelma esiintyy kun ajetaan kaarteissa erittäin voimakkaasti kiihdyttäen. Myös Järjestelmän laajentamista ajovakauden hallintajärjestelmäksi suunniteltiin, mutta Doblon aliohjaava käytös puolsi päätöstä olla rakentamatta varsinaista ajovakauden hallintajärjestelmää. Kokeemukseen pohjautuen ainoa tilanne, jossa tämän ajoneuvon stabiliteetti voidaan menettää, on usean vastaohjauksen sarja. ajovakauden hallintajärjestelmä vaatisi pyörintänopeustiedot jokaiselta renkaalta sekä mahdollisuuden jarruttaa yksittäisiä pyöriä. Ajan ollessa rajallinen päätettiin kehitys keskeyttää toistaiseksi tähän pisteeseen, jossa rajoitus toimii kiihdyttäessä. Keväällä 2014 ei Helsingissä juuri ollut lumista tiepintaa saatavilla, joten järjestelmän testaaminen lumella ja jäällä siirtyy myöhempään ajankohtaan.

Lähteet

1. Buick MaxTrac. 1972. Verkkodokumentti. General Motors.
<http://www.buick-riviera.com/maxtrac.html>. Luettu 16.5.2014.
2. Koisaari, Tapio. 2010. Aktiivinen tasauspyörästö. Verkkodokumentti.
<http://tekniikanmaailma.fi/autot/muut/aktiivinen-tasauspyorasto>. Luettu 1.5.2014.
3. Anti-slip regulation. 2014. Verkkodokumentti. Czech Auto LLC.
<http://www.skoda.am/models/HotspotDetail?HotspotName=S04%20-%20ASR%20%5BCitigo%2C%20Fabia%2C%20Roomster%2C%20Octavia%2C%20Octavia%20Tour%2C%20Yeti%2C%20Superb%2C%20Praktik%5D&WebID=c3271b2e-08c3-41f1-a3d4-81a0b009b7c1&Page=technology&view=TechnologySafety>.
Luettu 16.5.2014.
4. 2014. Electronic Stabilization Program (ESP). Verkkodokumentti. AUDI AG. <http://www.audi.ca/ca/brand/en/tools/advice/glossary.html>
Luettu 16.5.2014.
5. Bakker, E., Pacejka, H., & Lidner & L. 1989. A New Tire Model with an Application in Vehicle Dynamics Studies. SAE Technical Paper 890087.

Akebono-kiihtyvyyssanturi datalehti

(13.11.2008) Sami Ruotsalainen - CombinedsensorSpecification\$(BIDR04-001FG2axis).pdf

Page 1

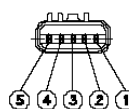
DR04-001
2004/1/6

Akebono Combined sensor

Partnumber □ 72-50403-00200



- ✓ Dimension □ 40(W)×39(H)×102(D)mm with connector
- ✓ Installation □ Use M6 screw
- ✓ Female connector □ Yazaki □ 049 □ 7283-5529



PIN No.	
①	GLAT
②	SGND
③	YAW
④	SVCC
⑤	GLONG

1. Common specification

Item	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Supply Voltage (Vcc)		4.75	5.00	5.25	V
Maximum Voltage				8.2	V
Operating temperature		-30		80	degC
Storage temperature		-40		85	degC
Current Consumption	Vcc=5V, NoLoad			35	mA
Startup Time	Vcc=5V, 25±2 degC			1	sec
Weight				150	g

2. Yaw rate sensor specification

Item	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Measuring range		-100		100	deg/sec
Max Output Voltage	RL=100kohm	Vss		0.13*Vcc	V
Min Output Voltage	RL=100kohm	0.87*Vcc		Vcc	V
Bias			0.5*Vcc		V
Bias error	R.T (25±2 degC)	-0.012*Vcc		0.012*Vcc	V
	-30 to +80 degC	-0.02*Vcc		0.02*Vcc	V
Scale Factor	R.T (25±2 degC)		0.004*Vcc		V/(deg/sec)
Scale Factor error	-30 to +80 degC	-5		5	%
Nonlinearity	-100 to +100 deg/sec	-2		2	%F.S.
Frequency response (Gain)	@3dB	40	48	55	Hz
Frequency Response (Phase)	@30Hz	-78	-66	-58	deg
Cross Axis sensitivity				5	%
Ratiometric error	Vcc = 4.75...5.25V	-2		2	%
Resistive output load		50	100		kohm
Capacitive load			1		nF
Output noise	Dc to 100Hz			10	mVrms

akebono

DR04-001
2004/1/6

3. Lateral accelerometer specification

Item	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Measuring range		-14.7		14.7	m/s ²
Min. Output Voltage	RL=20Kohm	Vss		0.05·Vcc	V
Max. Output Voltage	RL=20Kohm	0.95·Vcc		Vcc	V
Bias			0.5·Vcc		V
Bias error	R.T.(2 4 2 degC)	-0.016·Vcc		0.016·Vcc	V
	-30 to +80 degC	-0.0225·Vcc		0.0225·Vcc	
Scale Factor			0.2·Vcc		V/(9.8m/s ²)
Scale Factor error	-30 to +80 degC	-4		4	%
Non-linearity	-14.7 to +14.7 m/s ²	-2		2	%F.S.
Frequency Response (Gain)	@-3dB	8.5	13.5	18.5	Hz
Frequency Response (Phase)	@-45deg	8.5	13.5	18.5	Hz
Ratiometric error	Vcc = 4.75...5.25V	-2		2	%
Cross axis sensitivity				5	%
Resistive Output load		20			kohm
Capacitive load				20	nF
Output noise	From DC...4kHz			10	mVrms

4. Longitudinal accelerometer specification

Item	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Measuring range		-14.7		14.7	m/s ²
Min. Output Voltage	RL=20Kohm	Vss		0.05·Vcc	V
Max. Output Voltage	RL=20Kohm	0.95·Vcc		Vcc	V
Bias			0.5·Vcc		V
Bias error	R.T.(2 4 2 degC)	-0.016·Vcc		0.016·Vcc	V
	-30 to +80 degC	-0.025·Vcc		0.025·Vcc	
Scale Factor			0.2·Vcc		V/(9.8m/s ²)
Scale Factor error	-30 to +80 degC	-4		4	%
Non-linearity	-14.7 to +14.7 m/s ²	-2		2	%F.S.
Frequency Response (Gain)	@-3dB	8.5	13.5	18.5	Hz
Frequency Response (Phase)	@-45deg	8.5	13.5	18.5	Hz
Ratiometric error	Vcc = 4.75...5.25V	-2		2	%
Cross axis sensitivity				5	%
Resistive Output load		20			kohm
Capacitive load				20	nF
Output noise	From DC...4kHz			10	mVrms