

KALLISTUMAN MITTAAMINEN KIIHTYVYYSANTURILLA JÄRJESTELMÄN ASENNON SÄÄTÄMISEKSI

Hannu Pursiainen

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2011

Elektroniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) PURSIAINEN, Hannu	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 20.05.2011
	Sivumäärä 34	Julkaisun kieli suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi KALLISTUMAN MITTAAMINEN KIIHTYVYYSANTURILLA JÄRJESTELMÄN ASENNON SÄÄTÄMISEKSI		
Koulutusohjelma Tietotekniikka, elektroniikka		
Työn ohjaaja(t) PIETIKÄINEN, Kalevi		
Toimeksiantaja(t) Oma aihe		
Tiivistelmä Tavoitteena oli kehittää mittaus- ja säätöjärjestelmä tason kaltevuuden määrittämiseksi. Järjestelmää käytettäisiin esimerkiksi asuntovaunun kallistuman korjaamiseen. Taso kallistuma mitataan kiihtyvyyssanturilla ja asemointi haluttuun tilaan ohjataan järjestelmään kiinnitetyillä moottoriohjatulla jalaksilla. Lisäarvoja mitataan jalaksissa olevilla raja-arvokytkimillä. Näillä arvoilla määritetään jalkojen ääriasennot. Rajakytkimet laukaisevat keskeytykset estäen moottorin ajon yli ääriarvojen. Tarkastelussa tason säätäminen tapahtuu kolmiulotteisesti, jossa tasopinnan muodostavat x- ja y-akselit. Kolmantena komponenttina z-akseli edustaa kiihtyvyyttä pystytasossa. Mittaustiedon käsittelyssä hyödynnetään Arduino kit-korttia. Kehitysalusta hyödyntää common creative lisenssiä. Avoin lähdekoodi helpottaa järjestelmän kehittämistä. Matemaattisen tarkastelun pohjalta on luotu päättelysääntöjä järjestelmän käyttäytymiselle, josta on tehty Windows-pohjainen simulointi.		
Avainsanat (asiasanat) Tason asemointi, kiihtyvyyssanturi, kallistuman mittaaminen		
Muut tiedot		





Author(s) PURSIAINEN, Hannu	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 20052011
	Pages 34	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title ADJUSTING SYSTEM POSITION BY MEASURING SYSTEM TILT WITH ACCELEROMETER		
Degree Programme Information technology, Electronics		
Tutor(s) PIETIKÄINEN, Kalevi		
Assigned by JAMK University of Applied Sciences/School of Technology/ICT		
Abstract The purpose of this thesis was to measure and control a system's tilt on a horizontal plane and drive the plane to its horizontal state. The system could be used to fix a tilt in a caravan or similar. The tilt of the machine is measured using an accelerometer with legs connected to the system and the legs are used to set the position. Further means of sensing are used to define the safe operation of the system, e.g. limit systems that measure the maximum and minimum values of legs. The plane's adjustment is carried out three dimensionally, where the plane is formed by x- and y-axels and the z-axel represents the vector towards earth being a standard gravity or angle differencing from aforesaid. Arduino kit card is used to operate the system. Arduino project uses common creative license and a vast open source code and forum make it possible to easily develop and quickly demonstrate the system.		
Keywords Tilt sensing, Accelerometer		
Miscellaneous		



SISÄLLYS

SISÄLLYS.....	1
KUVALUETTELO.....	2
SANASTO.....	3
1. JOHDANTO.....	4
2. KALLISTUMAN MITTAAMINEN.....	5
2.1. Kiihtyvyyssanturi.....	6
2.1.1. Kiihtyvyyssanturin toiminta.....	6
2.1.2. Kiihtyvyyssanturin valinta.....	8
2.1.3. Kiihtyvyyssanturi MMA7361LC.....	9
2.2. Mittaaminen kiihtyvyyssanturilla.....	12
2.2.1. Kaltevuuden määrittäminen kahdella akselilla.....	12
2.2.2. Kaltevuuden määrittäminen kolmella akselilla.....	16
3. PÄÄTTELYSÄÄNNÖT.....	16
3.1. Hierarkkiset tasot.....	17
3.2. Prosessi.....	18
3.3. Takaisinkytkentä.....	19
3.4. Jalakset.....	20
4. TESTILAITE JA SIMULOINTI.....	21
4.1. Testilaite.....	21
4.2. Arduino.....	24
4.3. Jalakset.....	25
4.4. Kallistuma.....	26
5. POHDINTA.....	27
LÄHTEET.....	28

LIITTEET.....	29
---------------	----

KUVALUETTELO

KUVIO 1. Kiihtyvyyssanturin z- akselin suhde putoamiskiihtyvyyteen.....	5
KUVIO 2. Aseman määrittäminen	6
KUVIO 3. Kapasitiivisen kiihtyvyyssanturin toiminta.....	7
KUVIO 4. Kiihtyvyyssanturin MMA7361LC lohkokaavio.....	10
KUVIO 5. Kiihtyvyyssanturille valmistajan suosittama peruskytkenä.....	12
KUVIO 6. Kahden akselin käyttö kallistuman mittaamisessa	13
KUVIO 7. Kahden akselin käyttö kallistuman mittaamisessa	13
KUVIO 8. Kiihtyvyyden mittaaminen kahdella akselilla	15
KUVIO 9. Quadrant orientation kuvastaa kallistuman sijoittumista	15
KUVIO 10. Hierarkkiset tasot	17
KUVIO 11. Prosessin toiminnan kuvaus	19
KUVIO 12. Tasapainon mittaamiseen vaikuttavien toimintojen kuvaus	19
KUVIO 13. Moottorin ohjaus ja rajakytkimien takaisinkytkentä	20
KUVIO 14. Moottorikäyttöinen auton saksitunkki.....	21
KUVIO 15. Testilaitteen lohkokaavio.....	22
KUVIO 16. Jalaksen ohjaus releen avulla.....	23
KUVIO 17. Arduino koe levy ja koealustalle tehty yksinkertainen painonappi kytkentä	25
KUVIO 18. Jalasten simulointi	26
KUVIO 19. Kallistuman simulointi	26

SANASTO

AD-muunnin

Analog-to-Digital Converter (ADC) on piiri tai mikro-ohjaimen moduuli, joka muuntaa analogisignaalin digitaaliseksi.

Akseli Kiihtyvyyssanturin kiihtyvyyttä mitattava suunta. Kiihtyvyyssanturista riippuen akseleita voi olla 1 – 3.

Arduino Avoimeen lähdekoodin perustuva ohjelmiston kehitysympäristö ja siihen kuuluva kehitysalusta.

Kiihtyvyyssanturi

Anturi, joka mittaa kiihtyvyyttä suhteessa levyjen väliseen etäisyyteen.

MEMS Mikrosysteemit (Microelectromechanical systems) ovat useita eri toiminnallisuuksia omaavia komponentteja, joiden rakenteiden koot ovat mikrometrien luokkaa.

Mikro-ohjain

Piiri, johon on muistin lisäksi upotettu muuta toiminnallisuutta ja moduuleita kuten AD-muunnin.

PWM Pulssinleveysmodulaatio (Pulse Width Modulation) ohjaa kuormalle menevää lähtösignaalia. Signaalin leveys määrittää yhden jaksonaikana kuorman saaman jännitteen.

1. JOHDANTO

Laitteen tai järjestelmän turvallinen käyttö saattaa edellyttää määrättyä asentoa.

Käyttöä varten on tunnettava järjestelmän kallistuma kyseisestä tasosta. Kallistuman määrittäminen ja korjaaminen edellyttää järjestelmän asennon mittaamista. Asennon mittaaminen voidaan suorittaa kiihtyvyyssanturilla.

Työssä pohdittiin kallistuman mittaamista kolmiakselisella kiihtyvyyssanturilla ja kuinka mitattu kallistuma tarvittaessa korjattaisiin ohjaamalla järjestelmä ennalta määrättyyn tasapainotilaan. Haluttuna asentona pidettiin laitteen vaakatasoa, johon esimerkiksi asuntovaunu tai työkone asetetaan käytön ajaksi.

Lähtökohtana työlle olikin aiempi ongelma, jossa pohdittiin erilaisia mekaanisia vaihtoehtoja korvaamaan asuntovaunun jalasten säätäminen käsivoimin.

Tavoite oli mittaamalla määrittää järjestelmän kallistuma vaakatasosta ja korjata se. Kallistuma tunnistetaan mitatuista arvoista ja niiden perusteella järjestelmä ajetaan vaakatasoon.

Järjestelmän ajo suoritetaan päättelysääntöjen avulla. Päättelysääntöihin kuuluu mitaustiedon lisäksi mm. keskeytykset.

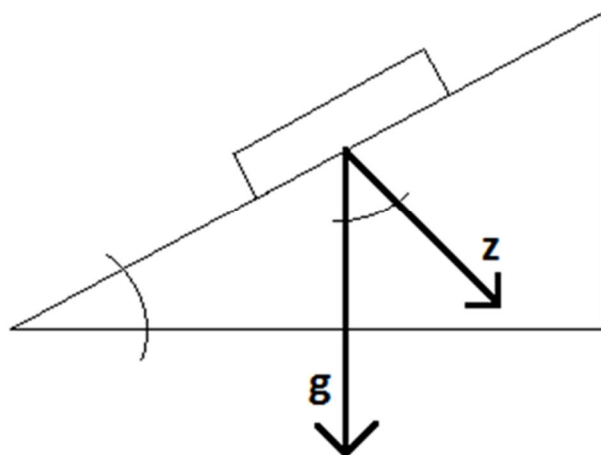
Työtä varten oli tarkoitus luoda testilaitte, jolla olisi esitelty kallistuman mittaamista ja korjaamista. Täydellinen testilaitte jätettiin kuitenkin toteuttamatta johtuen työhön valitun kiihtyvyyssanturin toimitusongelmista.

2. KALLISTUMAN MITTAAMINEN

Laitteet, joiden käyttö edellyttää vakaata ja tasaista asemaa kuten asuntovaunu tai henkilönosturi, epätasainen pinta aiheuttaa ongelmatilanteen, jossa kyseistä laitetta ei ole mahdollista käyttää tarkoituksensa mukaisesti. Näin ollen laite tuetaan paikoilleen säädettävillä jalaksilla. Näin käyttäjälle mahdollistetaan turvallinen tila tai työympäristö. Ongelmaksi muodostuu, milloin ehto tasapainoasemasta määräytyy ja millä keinoin tämä asema määritetään.

Kun järjestelmä paikoitetaan, asemoituu se suhteessa pintaan. Tällöin järjestelmä ei välttämättä ole halutussa asennossa esimerkiksi vaakatasossa. Kallistuma onkin poikkeama tästä asennosta.

Kallistumaa mitataan suhteessa putoamiskiihtyvyyteen. Kulma, jonka akseli muodostaa, kuvastaa kiihtyvyyttä. On huomioitava, että kiihtyvyys tässä tapauksessa ei ole dynaamista, liikkeeseen perustuvaa, vaan staattista eli laite pysy paikoillaan kyseisessä kulmassa kuvio 1.

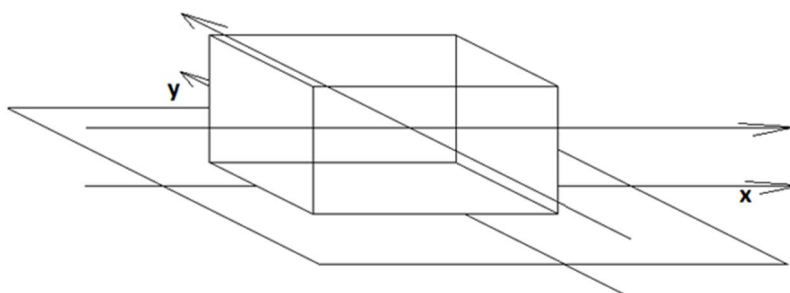


KUVIO 1. Kiihtyvyyssanturin z- akselin suhde putoamiskiihtyvyyteen

Putoamiskiihtyvyys g on maan vetovoiman aiheuttama tasainen kiihtyvyys. Eli jokainen kappale saa maanvetovoimaan nähden kiihtyvyyden, jonka arvo liki main on $9,81 \text{ m/s}^2$.

Työssä mitattava kallistuma tarkastellaan tasona, koska kallistumaa tarkastellaan kahteen suuntaan. Todellisuudessa mitattaessa mitataan kahta akselia x ja y , joiden kallistumista summattu vektori kuvaa todellista kallistumaa.

Tason asema määritetään xy -tasossa, joka halkaisee laitteen vaakatasossa. Kuviossa 1 esittää akseleiden suhteen laitteeseen. Koska laite seuraa perustansa pinnanmuotoa, ei ilman tukijalasten säätymistä ole mahdollista vaikuttaa tason aseman muutokseen. kuvio 2.



KUVIO 2. Aseman määrittäminen

Pinnanmuoto vaikuttaa täten suoraan molempiin akseleihin.

2.1. Kiihtyvyyssanturi

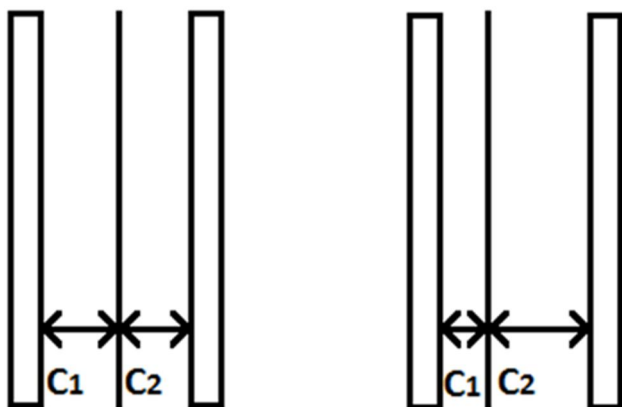
2.1.1. Kiihtyvyyssanturin toiminta

Kiihtyvyyssanturi on mahdollista toteuttaa usealla eri tavalla. Osa antureista hyödyntää pietsosähköistä vaikutusta. Tällaiset anturit sisältävät mikroskooppisen pienen kiteen, jota kiihtyvällä voimalla rasittamalla saadaan mitattava jännite. (LÄHDE: [accelerometers.htm](#))

Toinen tapa mitata kiihtyvyyttä on hyödyntää kahden levyn välistä kapasitanssia. Kahden vierekkäisen metallilevyn tai mikrorakenteen, MEMS, välillä on määrätty kapasitanssi, mikäli kiihtyvä voima siirtää toista levyä tai rakennetta näiden kapasitanssi muuttuu. Muuntamalla kapasitanssi jännitteeksi saadaan kiihtyvyyssanturin. (LÄHDE: [accelerometers.htm](#))

Edellä mainittujen tapojen lisäksi kiihtyvyyttä voidaan mitata myös pietsoresistiivisesti, Hall ilmiön avulla tai magnetoiresistiivisesti. (LÄHDE: Acceler1.pdf)

Kapasitiivinen kiihtyvyyssanturi on yksinkertaisesti kahden kiinteän levyn välissä oleva kolmas levy, jonka on mahdollista muuttaa paikkaansa liikkeen mukaan, kuten kuviossa 3 esitetään. Levyjen välillä on olemassa kapasitanssia, jonka muutos on suhteessa levyjen etäisyyteen toisista. Kiihtyvyys taas on suhteessa mitattuun kapasitanssiin. Mittaamalla kapasitanssi ja muuntamalla se jännitteeksi saadaan laskettua kiihtyvyys



KUVIO 3. Kapasitiivisen kiihtyvyyssanturin toiminta

MEMS (=Micro-Electro-Mechanical Systems) eli mikrosysteemit on teknologia, joka yleisesti voidaan määritellä pienoiskoossa olevia mekaanisia ja sähkömekaanisia elementtejä, jotka on valmistettu käyttämällä mikrovalmistus tekniikoita. (LÄHDE: [what is.html](#))

Vaadittu fyysinen koko MEMS laitteelle voi vaihdella alle yhdestä mikrometrinä useisiin millimetreihin. MEMS laite voi myös koostua rakenteista, joilla ei ole liikkuvia osia, tai olla erittäin monimutkainen järjestelmä, jolla on useita liikkuvia osia ohjattuna järjestelmään liitetyllä mikroelektronikalla. (LÄHDE: [what is.html](#))

Kuitenkin yksi MEMS laitteen määrittelevä kriteeri on, että laitteella jollakin elementillä tulee olla jonkinlainen mekaaninen toiminto huolimatta siitä liikkuuko elementti. (LÄHDE: [what is.html](#))

Yleisesti tarkasteltuina anturit alkavat olla MEMS antureita. Tosin esimerkiksi niiden toiminto perustuu kapasitiiviseen anturiin

2.1.2. Kiihtyvyyssanturin valinta

Ennen kuin kiihtyvyyssanturia lähtee kaupasta hakemaan, on hyvä pohtia valintaan vaikuttavia kriteerejä. Suunnittelija määrittää mitä hän järjestelmältä haluaa ja näiden pohjalta hän valitsee komponenttinsa kytkentään. Kiihtyvyyssanturille on muutamia ominaisuuksia, jotka on syytä tietää, mikäli haluaa kytkentäänsä sen oikean kiihtyvyyssanturin ja haluaa valitun kiihtyvyyssanturin toimivan oikein. Kiihtyvyyssanturin ominaisuuksia ovat:

- Analoginen vai digitaalinen
- Akseleiden määrä (number of axis)
- Suurin heilahdus (Maximum swing)
- Herkkyyys (Sensitivity)
- Impedanssisovitus ja puskurointi (Impedance and buffering).

Aivan ensimmäiseksi on päätettävä onko valittavan kiihtyvyyssanturin lähdöt analogisia vai digitaalisia. Tämän määrittää laitteisto, johon kiihtyvyyssanturi aiotaan liittää. Jos mikro-ohjaimen sisääntulot ovat puhtaasti digitaalisia, valinta on itsestään selvästi digitaalinen kiihtyvyyssanturi.

Haittapuolena on se, että signaalin käsittely vaatii mikro-ohjaimelta resursseja ajan käsittelyyn pulssisuhteen laskemiseksi, kuin myös laskennallisesti tehokasta jakolaskua.

Mikäli käytettävissä on analoginen kiihtyvyyssanturi voi käytettävissä olevasta kääntäjästä riippuen kiihtyvyyden mittaaminen olla niinkin yksinkertaista kuin:

```
analogRead(xpin); // Arduino
```

Esimerkkinä annetaan vain yhden akselin arvon lukeminen, missä xpin on muuttuja, johon anturin tieto luetaan.

Lisäksi arvon luku tapahtuu millisekunneissa. Tästä syystä analoginen piiri on useimmiten digitaalista parempi ratkaisu.

Kiihtyvyyssantureita on saatavana 1-, 2- tai 3-akselisina. Akseleiden määrä kertoo, kuinka moneen suuntaan kiihtyvyyssanturi kykenee kiihtyvyyttä mittaamaan. Useimmissa projekteissa kaksi akselia on riittävä määrä. Tosin jos tarkoitus on määrittää laitteen asema kolmiulotteisesti, on käytettävä kolmiakselista kiihtyvyyssanturia.

Suurin heilahdus määrittää kuinka suuren kiihtyvyyden anturin tulee mitata. Mikäli tarkoitus on mitata pelkästään kallistumaa maan vetovoiman suhteen $\pm 1,5g$:n kiihtyvyyssanturi on riittävä. Auton, koneen tai robotin liikkeen mittaamiseen $\pm 2,0g$:tä on riittävä arvo. Projektit, joissa on määrä mitata äkillisiä lähtöjä tai pysähdyksiä, vaativat kiihtyvyyssanturilta jo $\pm 5,0g$:tä.

Muutos kiihtyvyydessä antaa herkemmälle kiihtyvyyssanturille suuremman muutoksen signaalissa. Koska suurempia signaalien muutoksia on helpompi mitata, saadaan luotettavampia tuloksia. Nyrkkisääntönä onkin, että herkempi kiihtyvyyssanturi on parempi.

Kaistanleveydellä tarkoitetaan sitä ajan määrää sekunnissa jolloin saadaan luotettavia lukemia kiihtyvyydestä. Jos menetellä mitataan kallistumaa, jolla on hidaskäyttö, riittää kaistanleveydeksi viisikymmentä hertsiä. Vastaavasti värinän mittaaminen vaatii useiden satojen hertsien kaistan leveyden.

Usein yleisin yksittäinen ongelma analogisilla kiihtyvyyssantureilla ovat impedanssi- sovituksesta johtuvat ongelmat. Sekä PIC että AVR määrittävät, että toimiakseen oikein A/D – muunnos edellyttää näiden mikro-ohjaimiin liitettäviltä kiihtyvyyssantureilta lähtöimpedanssiksi $10k\Omega$. Valitun kiihtyvyyssanturin MMA7361LC:n lähtöimpedanssi on $32k\Omega$, joten ilman sovitusta signaaliin ui häiriötä.

2.1.3. Kiihtyvyyssanturi MMA7361LC

Työhön valittiin kiihtyvyyssanturiksi freescale semiconductorin kiihtyvyyssanturi MMA7361LC (ks. Liite 1). Anturi on analoginen ja kolmiakselinen ja sillä on valittavissa kaksi erillistä enimmäisheilahduksen arvoa $\pm 1,5g$ ja $\pm 6,0g$. Anturi on vähäisin lisäyksin, liitin ja neljä kondensaattoria, liitettävissä testialustaksi valittuun Arduino Kit- korttiin.

Anturin ominaisuuksien lisäksi valintaan vaikuttivat siten sen liitettävyyden ja mahdollisuus käyttää toisenlaisessa sovelluksessa esimerkiksi värinän mittaamisessa.

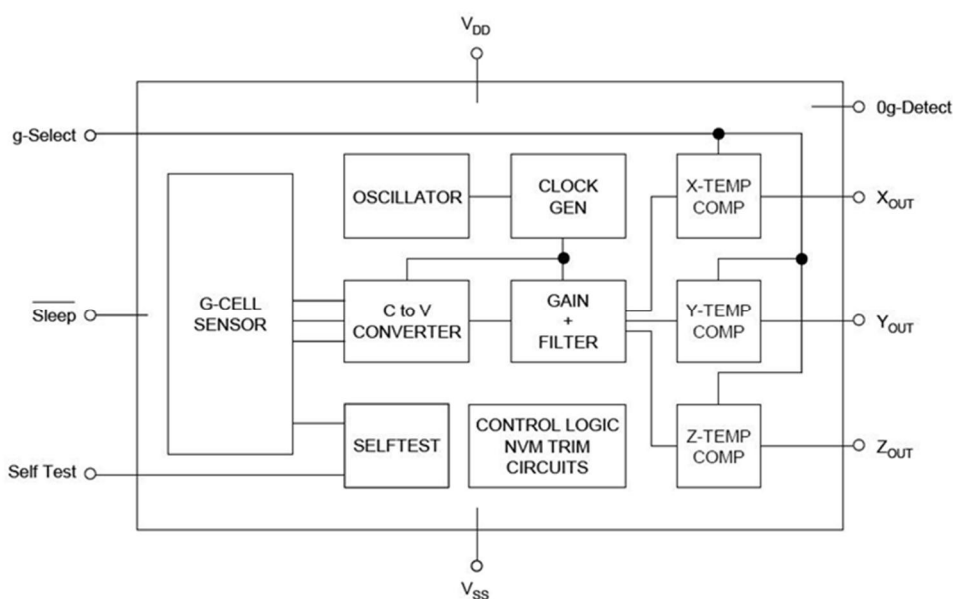
Kallistuman mittaaminen ei ole operaatioista vaativimpia. Kun vielä mitata asuntovaunun kaltevuutta ja tarkkuus käytännössä on millimetrien ja asteen kymmenesosan luokkaa, ei valitun anturin tarvitse olla kaikkein järeimmästä luokasta.

Kiihtyvyyssanturin valintaan vaikuttaa myös sen ominaisuuksien lisäksi kaksi muutakin asiaa, jotka suunnittelijan on otettava huomioon. Laajempaa tuotantoa varten on valittavalta komponentilta edellytettävä edullista hintaa ja toimitusvarmuutta. Tutkittaessa Farnell komponentti kaupan hinnastoa (4.6.2011) $\pm 1,5g$:n kiihtyvyyssantureita oli valmistajista saatavilla Freescale semiconductor, jonka tuotteista valittu MMA7361LCR1 oli edullisin. Yksikköhinnaltaan kymmenen kappaletta maksoi 2,25 euroa kappaleelta. Enintään yhdeksän kappaletta maksoi 2,88 euroa kappale.

Valittu kiihtyvyyssanturi on siis analoginen. Sen lohkokaavio on esitetty kuviossa 4. Siitä voimme huomata, että edellä mainitun maksimi heilahdusten, g-select, lisäksi kiihtyvyyssanturilla on muitakin lisäominaisuuksina. MMA7361LCR1 kykenee tarkistamaan itsensä, Self Test, ja pystyy havaitsemaan, onko anturi esimerkiksi vapaapudotuksessa, 0g-Detect.

Self Test toiminnon avulla on mahdollista milloin tahansa tarkistaa järjestelmän mikromekaanisten ja elektronisten toimintojen eheys.

0g-detect ilmaisee vaikuttaako johonkin akseliin kiihtyvyys. Mikäli ei eli jokaisen akselin tila on 0g:tä, asettaa anturi 0g-Detect lähdön ylätilaan ilmaisten laitteelle että ollaan vapaapudotuksessa. Toimintoa käytetään usein kovalevyjen lukupäiden ohjauksessa. Mikäli tietokone putoaa pöydältä, poistetaan lukupäät kovalevyiltä jotta koneen iskeytyessä maahan, eivät lukupäät turmelisi kovalevyä.



KUVIO 4. Kiihtyvyyssanturin MMA7361LC lohkokaavio

Mikäli anturin tehonlähteenä käytetään patteria, on syytä käyttää myös Sleep toimintoa, jolloin anturin lähdöt suljetaan. Tämä tapahtuu siten että anturin porttiin 7, Sleep, tuodaan 0 signaali.

Lohkokaaviosta nähdään myös anturin sisäiset komponentit.

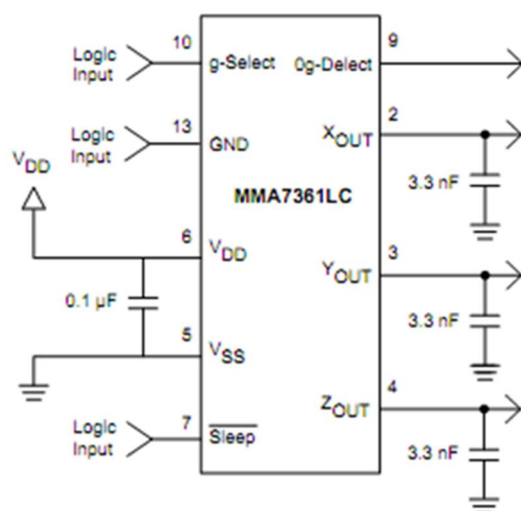
- G-Cell sensor
- Selftest
- C to V Converter
- Gain + Filter
- X-, Y- ja z- Temp comp
- Oscillator
- Controll logic nvm trim circuit
- Clock gen.

G-Cell on ilmatiiviisti piin sisään suljettu mikromekaaninen järjestelmä, joka toteuttaa kiihtyvyyden anturoinnin kolmeen suuntaan.

C to V converter huolehtii mitatun kapasitanssin muuttamisen jännitteeksi. Toiminnot tahdistetaan anturin sisäisen oskillaattorilta generoidulla kellosignaalilla, joka ohjaa sekä C to V muunninta että suodatin vahvistinta.

Gain + filter, sekä vahvistaa signaalia, että toimii suodattimena. Suodatus perustuu single pole switched capacitor kytkentään, jolla korvataan resistanssi kytkin transistoreilla tai feteillä. Suodatin on realisoitu, eli sen komponentti arvot ovat määritelty, switched capacitor menetelmällä ei ulkoisia passiivisia komponentteja tarvita rajataajuuden määrittämiseen.

On kuitenkin huomioitava, että kuviossa 5 esitetyt x-, y- ja z- akseleiden 3,3 nF:n kondensaattori ovat tarkoitettu impedanssi sovitukseen. Tämä siitä syystä, että kiihtyvyydianturin ulostulojen impedanssi on 32k Ω (LÄHDE: MMA7361LC.pdf), kun taas Atmel ohjeistaa mikro-ohjaintensa, Arduino käyttää ATmega128 mikro-ohjainta, A/D muunnoksen sisääntulo impedanssiksi 10k Ω (LÄHDE: doc2467.pdf).



KUVIO 5. Kiihtyvyyssanturille valmistajan suositteama peruskytkentä

2.2. Mittaaminen kiihtyvyyssanturilla

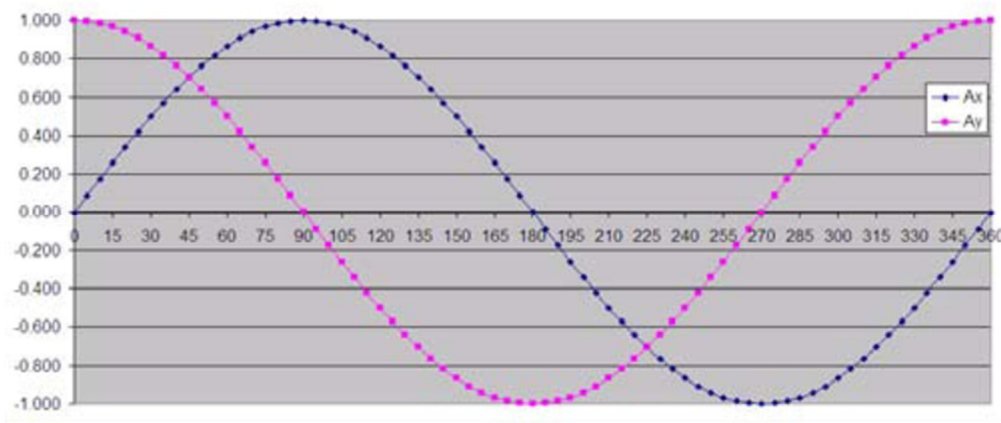
Mikäli kyseessä on kolmiulotteinen liike, paras tapa mitata kallistuma on käyttää kolmiakselista kiihtyvyyssanturia. Tällöin kallistuma määritetään lukemalla kaikkien kolmen ulostulon jännite ja laskemalla näistä kallistuskulmat.

Koska työssä mitataan kallistumaa kahteen suuntaan, on mahdollista pohtia vaihtoehtoa, jossa kallistuma laskettaisiin kahden akselin avulla siten että z-akselin arvo hyödynnettäisiin x- ja y-akseleille.

2.2.1. Kaltevuuden määrittäminen kahdella akselilla

Kallistuman määrittäminen yhteen suuntaan voidaan tehdä pelkästään yhdellä akselilla, mutta tällöin ongelmaksi muodostuu kallistuman epätarkkuus, kun lähestytään $\pm 1g$:n aluetta. Näin ollen kiihtyvyyssanturi on hyödyllinen mittaamaan kallistumaa välillä $\pm 45^\circ$.

Lisäksi käytettäessä yhtä akselia mittaamiseen emme voi mitenkään tietää kumpi kahdesta kulmasta on kyseessä. Tämä johtuu siitä, että ulostulo jännite on sinikäyrä, kuten kuviossa 6 on esitetty, joten on mahdotonta sanoa, onko $0,5g$:n kohdalla kulma 30° vai 150° .

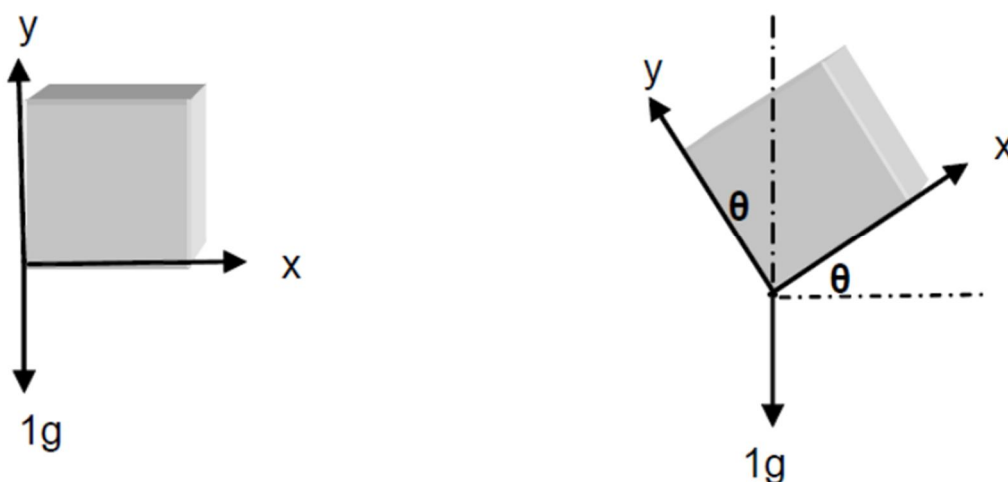


KUVIO 6. Kahden akselin käyttö kallistuman mittaamisessa

Tämän vuoksi on parempi, mikäli kallistuma halutaan mitata suuntaansa käyttää kah- ta akselia. Jos käytössä on kaksi akselinen kiihtyvyyssanturi, kannattaa kiihtyvyyssanturi asemoida pystysuoraan. Tällöin päästään eroon sekä resoluution epätarkkuudesta, eli siitä kuinka tarkkuus yhdellä akselilla kärsii kun lähestytään $\pm 1g$:tä, että suunnan määrittämisen ongelmasta (LÄHDE: AN3461. s. 2).

Kuviosta 6 näemme kuinka lähdöt Ax ja Ay käyttäytyvät kiihtyvyyden ja kallistuman suhteen. Huomaamme myös että toisen ollessa ääriasennossa on toisen arvo nolla ja päinvastoin. (LÄHDE: AN3461. s. 2)

Kuviossa 7 esitetään kuinka pystysuoraan asetettu kiihtyvyyssanturin kahdella akselilla parannetaan akselin tarkkuutta ja suuntaa. (LÄHDE AN3461. s. 2)



KUVIO 7. Kahden akselin käyttö kallistuman mittaamisessa

Kokonaiskallistuma on laskettavissa kun tiedetään sekä x-akselin että y-akselin kiihtyvyydet, kaava 1.

$$\tan \theta = \frac{A_x}{A_y} \quad (1)$$

Missä $\tan \theta$ kokonaiskallistuman tangentti
 A_x on x-akselin kiihtyvyys
 A_y on y-akselin kiihtyvyys

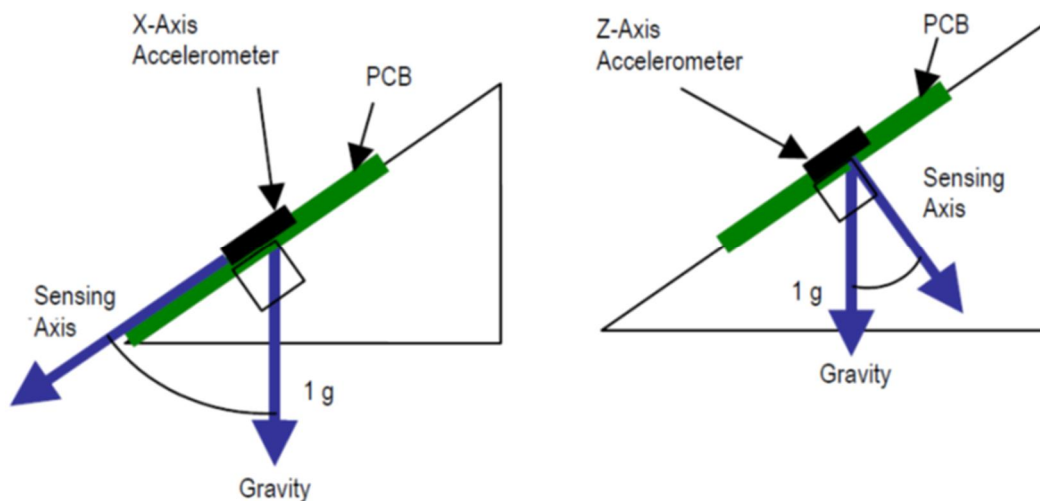
Edellä oleva esimerkki on annettu kun käytössä on ollut kaksi akselinen kiihtyvyyssanturi, jossa kallistumaa on mitattu 360 – asteen kääntymässä. Entä, jos tarvetta olisi mitata kallistuma myös toiseen suuntaan. Kuten asuntovaunun tapauksessa tulisi tietää kahteen suuntaan kallistuma, jotta asuntovaunu saataisiin kohdistettua vaakatasoon.

Koska kaksiakselisen anturin molemmat akselit ovat käytössä, tarvitsemme toisen samanlaisen anturin mittaamaan kallistusta toiseen suuntaan. Toisaalta voimme ottaa kolmiakselisen kiihtyvyyssanturin ja käyttää hyväksi sen kolmatta z-akselia.

Kun kiihtyvyyssanturi asetetaan vaakatasoon voimme hyödyntää x- ja y-akselia suhteessa maahan nähden, jolloin z-akseli, joka on suoraan maata kohden ja sen muutos heijastaa eroa putoamiskiihtyvyyteen, korvaa tarpeen käyttää y-akselia tarkentamaan kallistumaa x-akselin suuntaan.

Onko tämä kuitenkin järkevä vaihtoehto mitata tason kallistumaa sillä nyt yksi akseli jää kokonaan käyttämättä. Koska kyseessä on tason mittaaminen, on ehkä parempi hyödyntää suoraan anturin kolmea akselia.

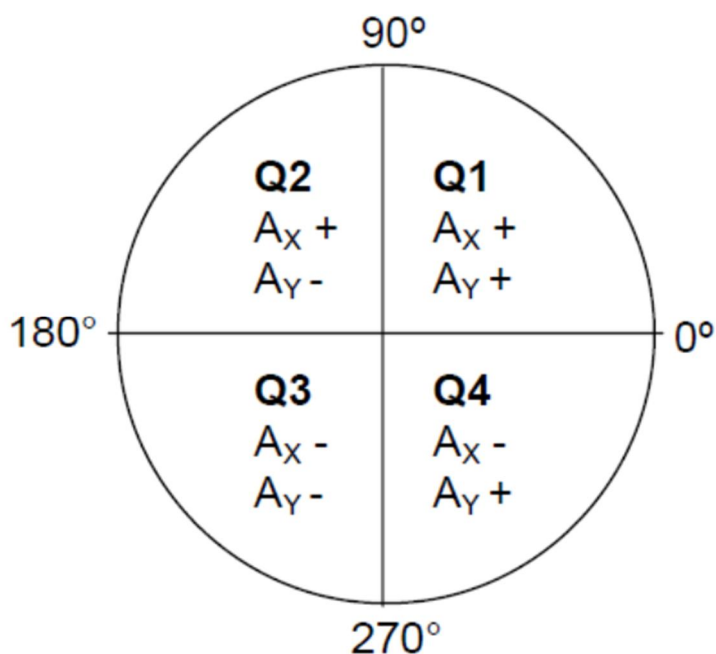
Kuviossa 8 esitetään, kuinka sekä x- että z-akselia tulisi käyttää kiihtyvyyden mittaamiseksi (LÄHDE: AN3107. s. 2).



KUVIO 8. Kiihtyvyyden mittaaminen kahdella akselilla

Kallistuman tunnistamisessa on erittäin tärkeää tietää x- ja y-akseleiden etumerkki.

Ilman kiihtyvyyden akselin etumerkkiä emme pysty määrittämään mihin kulmaan kallistuma on asettunut sillä ensimmäisen ja kolmannen sekä toisen ja neljännen sektorin ulostulojen arvot ovat samat. Kuviossa 9. (LÄHDE: AN3461. s. 4) on esitetty kuinka eri etumerkillä olevat kiihtyvyyden arvot asettuvat neljälle sektorille



KUVIO 9. Quadrant orientation kuvastaa kallistuman sijoittumista

2.2.2. Kaltevuuden määrittäminen kolmella akselilla

Käytännössä tämä tarkoittaa jokaisen ulostulon arvon lukemista. Arvoista lasketaan kulmat kaavojen 2 – 4 avulla riippuen siitä mistä kolmesta akselista on kyseessä. Tämän jälkeen kallistuman määrittäminen on vektori laskentaa, jossa vektorin pituuden voidaan korvata yksikkö vektorilla.

Kun tulee ratkaista x-akselin kulma, hyödynnetään kaavaa 2.

$$\rho = \tan^{-1} \left(\frac{A_X}{\sqrt{A_Y^2 + A_Z^2}} \right) \quad (2)$$

y-akselin kulma ratkaistaan kaavalla 3.

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{A_Y}{\sqrt{A_X^2 + A_Z^2}} \right) \quad (3)$$

Kulma jonka z-akseli aiheuttaa suhteessa putoamiskiihtyvyyteen ratkaistaan kaavalla 4.

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{A_X^2 + A_Y^2}}{A_Z} \right) \quad (4)$$

3. PÄÄTTELYSÄÄNNÖT

Päätteleyssäännöt ovat kokoelma tietoja, jotka koostuvat lipuista, mitatuista arvoista ja keskeytyksistä. Näistä tiedoista muodostetaan sovellutuksen algoritmi, jonka avulla ohjataan järjestelmä vaakatasoon.

Koko järjestelmän toteutuminen perustuu tasoihin. Tasot ainoastaan määrittävät miten järjestelmä käyttäytyy ennen kuin sovellus voi ohjata järjestelmän vaakatasoon.

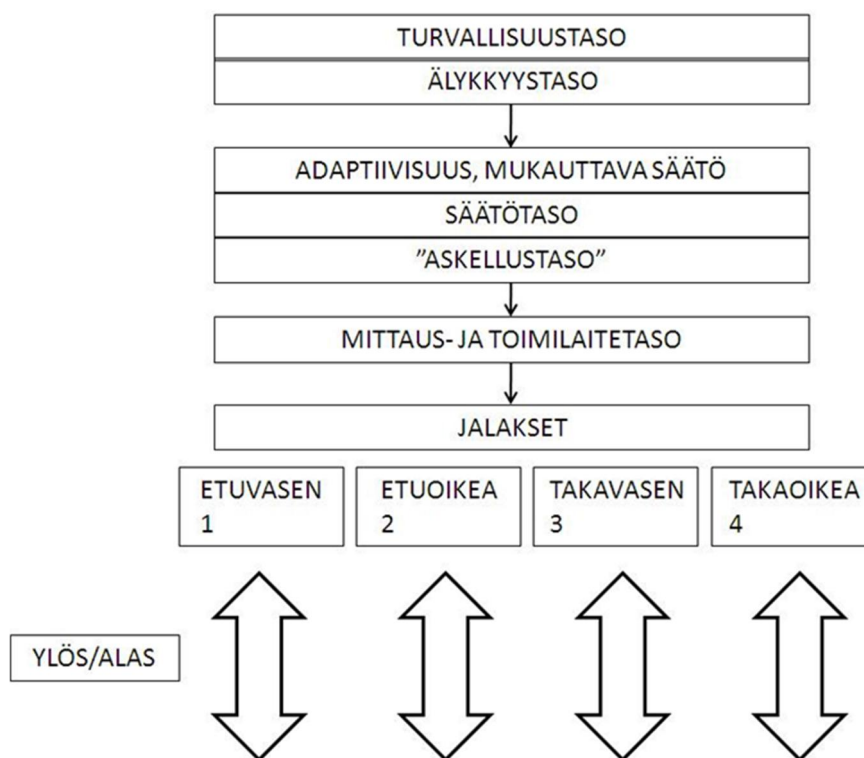
Itse sovellutuksen ohjaaminen tapahtuu säätötasolla, jossa laitteen toiminnot suoritetaan.

3.1. Hierarkkiset tasot

Hierarkkiset tasot kuvastavat eri tasojen ja saman tason toimintojen suhdetta toisiinsa. Mikäli ylempi taso havaitsee, että tapahtuma on ristiriidassa sen ohjelman kanssa, laitteisto pysäytetään. Laitteisto pysyy pysäytettynä kunnes virhetilanne on poistunut ja vika on kuitattu.

Näin ollen alemmilla tasoilla ei ole mahdollisuutta valittaa mikäli laitteisto ei toimi, koska ylempi taso estää toiminnon. Toisaalta vian havainneen tason on osoitettava koko järjestelmälle, mikä on syy sille, että järjestelmä pysäytettiin.

Kuviossa 10 on esitetty säädön hierarkkiset tasot. Ylin taso kuvaa turvallisuustasoa, jossa tulee huomioida, että säätö ei mene päälle ajotilanteessa.



KUVIO 10. Hierarkkiset tasot

3.2. Prosessi

Prosessi kuvaan järjestelmän toimintaa. Prosessi alkaa kaltevuuden mittaamisella, minkä jälkeen täytyy päättää kuinka järjestelmä vakautetaan. Tieto tästä saadaan, kun ajetaan jalakset maahan ja havaitaan, milloin mitatussa arvossa tapahtuu muutos.

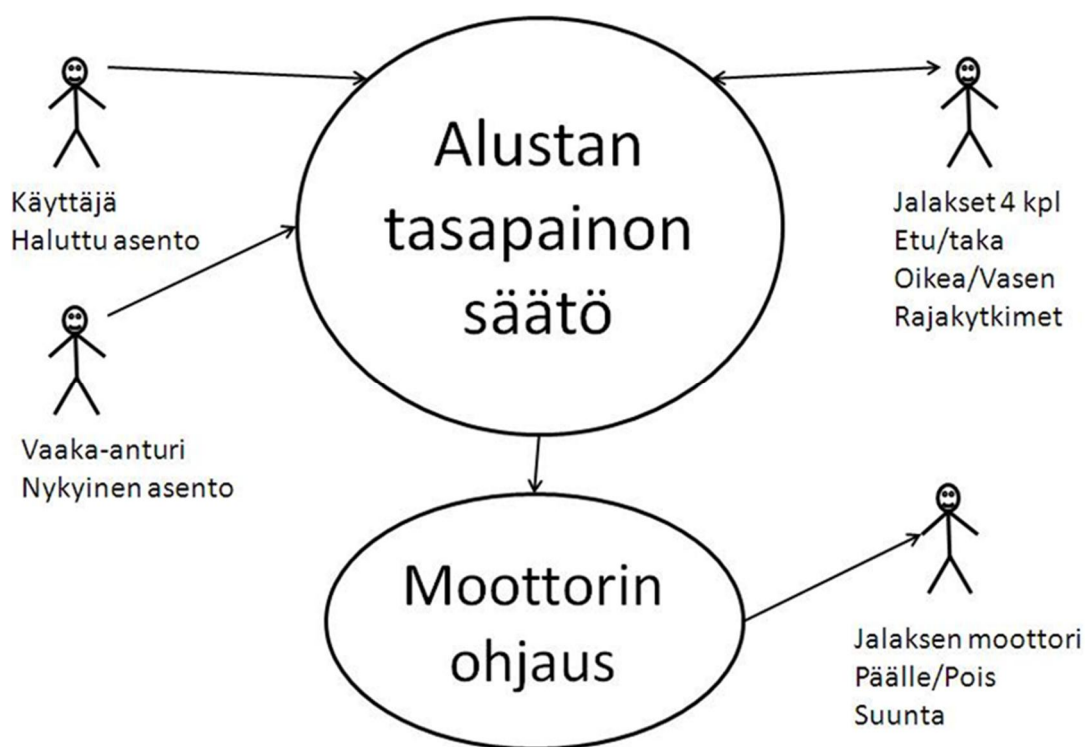
Järjestelmän tulee tietää, milloin kaikki jalakset ovat maassa. Tämä voidaan selvittää asettamalla anturi jalakseen tai päättelemällä mistä kulmasta muutos tapahtui kun mitattu arvo muuttui.

Molemmissa vaihtoehdoissa on etunsa ja haittansa. Jalakseen asetettu komponentti nostaa kustannuksia, mutta on helppo tapa ohjata järjestelmää koska signaalin, voidaan käsitellä keskeytyksenä. Jos muutos analysoidaan mittaustiedon muutoksena, säästetään vähintään neljä komponenttia, mutta tällöin vaaditaan mikro-ohjaimelta vastaavasti resursseja laskentaan ja algoritmien suunnitteluun.

Järjestelmän on siis tiedettävä milloin kaikki jalakset ovat koskettaneet maata, joten sen on pysäytettävä jokainen maahan osunut jalka kunnes viimeinenkin ilmoittaa osumasta.

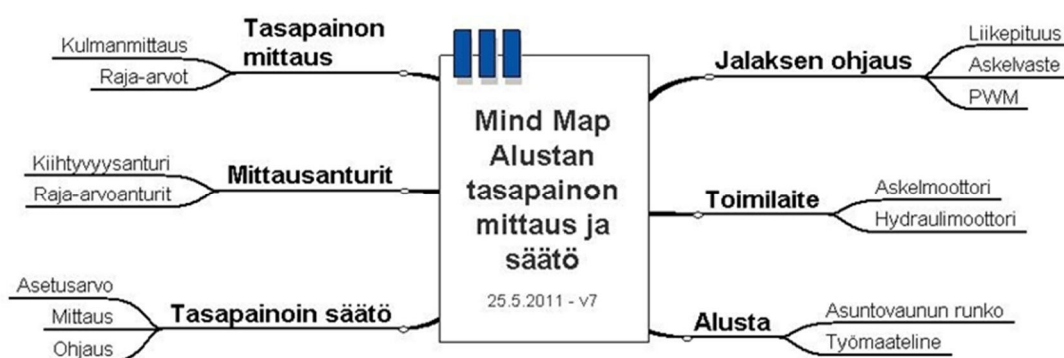
Tämän jälkeen prosessi voi vasta jatkaa. Tässä vaiheessa järjestelmä jo tietää mitä jalasta sen on mahdollisesti nostettava ja mitä laskettava, jotta tason asema voidaan ajaa vaakatasoon.

Viimeisenä vaiheena prosessi ilmoittaa käyttäjälle milloin vaakataso on saavutettu ja lopettaa toimintansa. Kuviossa 12 on kuvattu kuinka käyttäjä anturi ja kytkimet vaikuttavat alustan kaltevuuden mittaamiseen ja säätymiseen, sekä kuinka moottorin ohjaus vaikuttaa jalasten moottoreiden ohjaukseen.



KUVIO 11. Prosessin toiminnan kuvaus

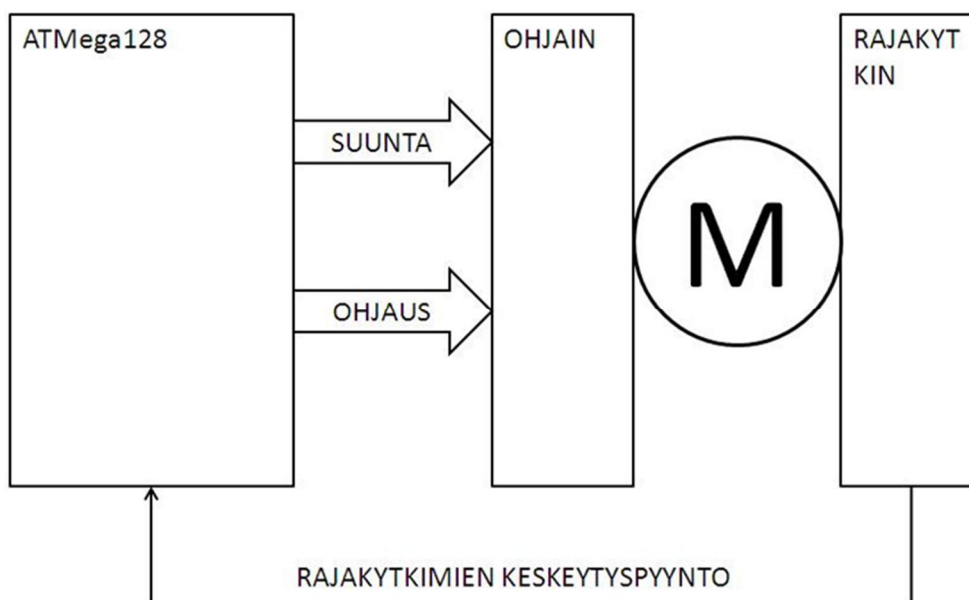
Kuviossa 13 esitellään alustan, esimerkkinä asuntovaunun, kallistuman mittaamiseen ja vakaatasoon asettamiseen vaikuttavia tekijöitä.



KUVIO 12. Tasapainon mittaamiseen vaikuttavien toimintojen kuvaus

3.3. Takaisinkytkentä

Osa järjestelmän toimintoa ja vian hallintaa on takaisin kytkentä. Se palauttaa tiedon järjestelmälle, milloin jalasten ohjaus on saavuttanut ääriarvonsa. Näin ollen jalaksia voidaan ohjata tehokkaasti ja turvallisesti. Kuviossa 11 on esitetty järjestelmän ohjaus logiikka ja rajakytkimien takaisinkytkentä.



KUVIO 13. Moottorin ohjaus ja rajakytkimien takaisinkytkentä

Järjestelmän osana on muutakin tietoa kuin kaltevuus, joka tullaan mittaamaan anturoinnilla. Edellä mainittiin rajakytkimet, joiden tehtävänä on laukaista välitön keskeytys, mikäli jalaksen minimi tai maksimi arvo saavutetaan. Anturoinnilla on myös turvallisuuteen vaikuttavat tekijät, sillä turvallisuuteen voidaan asettaa ehtoja, jotka estävät jopa jalasten käytön mikäli asuntovaunu on vielä kiinni vetokoukussa

3.4. Jalakset

Jalasten suunnittelussa pyrittiin hyödyntämään kaupallisia ratkaisuja alusta lähtien. Jalaksen prototyyppiä valittiin moottorilla toimiva saksitunkki. Välttämättä ei paras ratkaisu, mutta valintaan päädyttiin sen vuoksi että sitä oli helppo ohjata ja valittu järjestelmä saadaan toimimaan akkuvirralla.

Lisäksi muutamassa tapauksessa on nähty asuntovaunuissa samalla periaatteella toimivia jalaksia.

Markkinoille on tullut auton 12 voltin jännitteellä toimivia saksitunkeja. Kuviossa 14 esitelty yksilö on ollut myynnissä Biltemassa. Tunkki toimii 12 Voltin jännitteellä, joka voidaan ottaa suoraan auton akusta. Ohjaus on kahden releen takana, joilla valitaan tunkin suunta. Laajamittaisempaan käyttöön olisi parempi hankkia toisenlainen järjestelmä, koska tunkki on suhteellisen raskas, ja käyntinopeudeltaan verkkainen



KUVIO 14. Moottorikäyttöinen auton saksitunkki

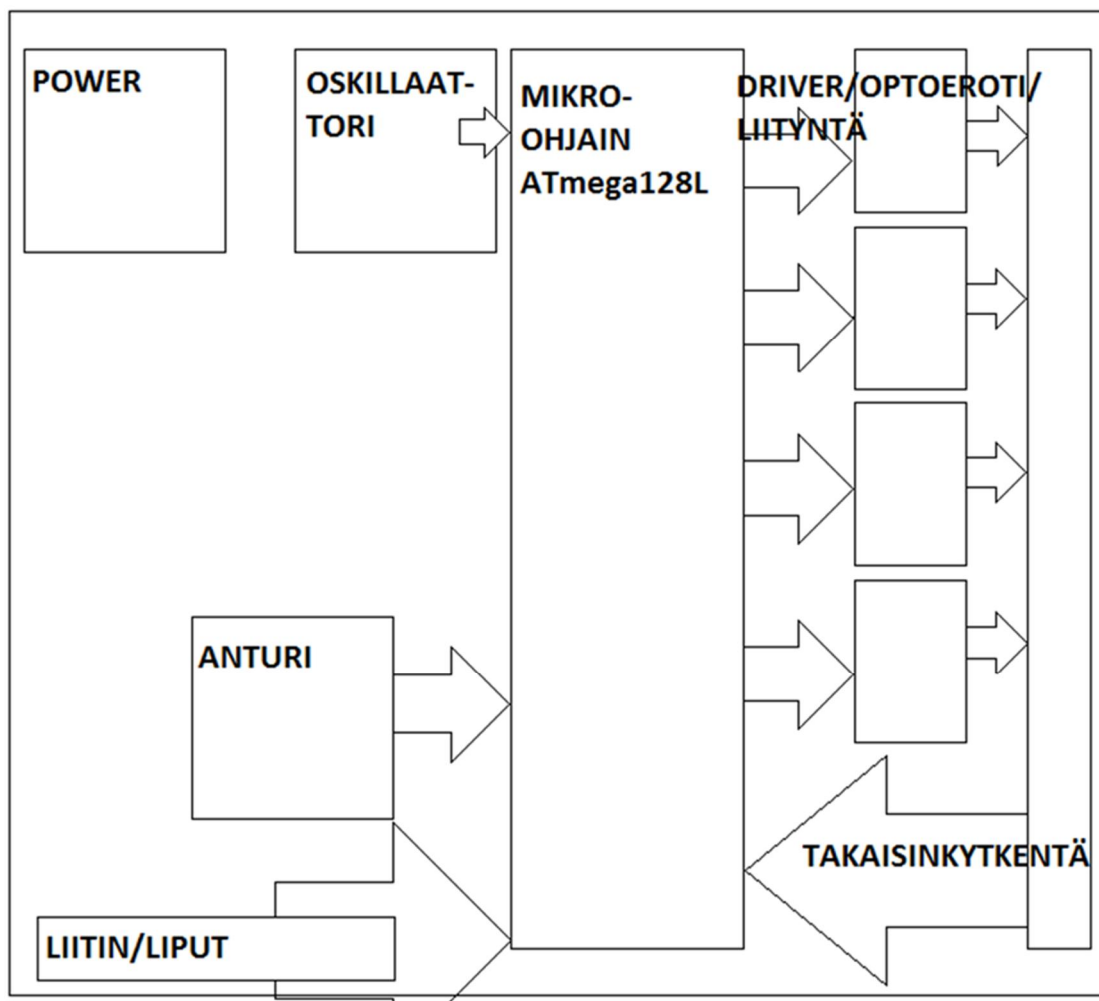
4. TESTILAITE JA SIMULOINTI

4.1. Testilaite

Työhön oli tarkoitus rakentaa testilaite, mutta johtuen kiihtyvyyssanturin saatavuus ongelmista tämä jouduttiin jättämään pois.

Testilaitteella oli tarkoitus mitata kallistuma, määrittää jalaksilla ohjaaminen sekä testata millainen merkitys sillä on jos kallistuma mitataan kahdella kiihtyvyyssanturilla siten että z-akseli on sama kahdelle muulle ja akselille vai onko parempi mitata pelkästään kolmella kulmalla erikseen ja laskea näiden arvoista kallistumaa.

Testilaitteen lohkokaavio on esitetty kuviossa 15. Tässä ei oteta huomioon sitä, että kokeilu alustana olisi toiminut Arduino Kit- kortti. Tämä siitä syystä että kaupalliseen tai laajempaan käyttöön hyödynnettäessä Arduinoa olisi joutunut muokkaamaan hieman, joten oli parempi suunnitella kortti alusta lähtien itse.



KUVIO 15. Testilaitteen lohkokaavio

Kuviossa 16 esitetään jalaksen ohjaukseen suunniteltu releohjaus. Ohjaus olisi voitu suunnitella H-sillan avulla neljää fetin käyttäen, mutta koska alkuperäinen tunkin ohjaus oli suunniteltu releillä, niin päätettiin suunnittelussa hyödyntää samaa ratkaisua.

Releen valintaan vaikuttaa kuinka paljon kelajännitettä kelan tulisi kestää. Tässä tapauksessa releen tulee kestää vähintään akulta tuleva jännite, joka oletetaan 12 voltiksi. Farnellin sivuilta valittiin releeksi OMRONIN G2R, jolla 12 voltin kelajännitteellä on mitattu resistanssiksi 275Ω .

Tästä voimme laskea virran ohmin lain avulla, jolloin saamme releen kelan läpi kulkevaksi virraksi 0,044A.

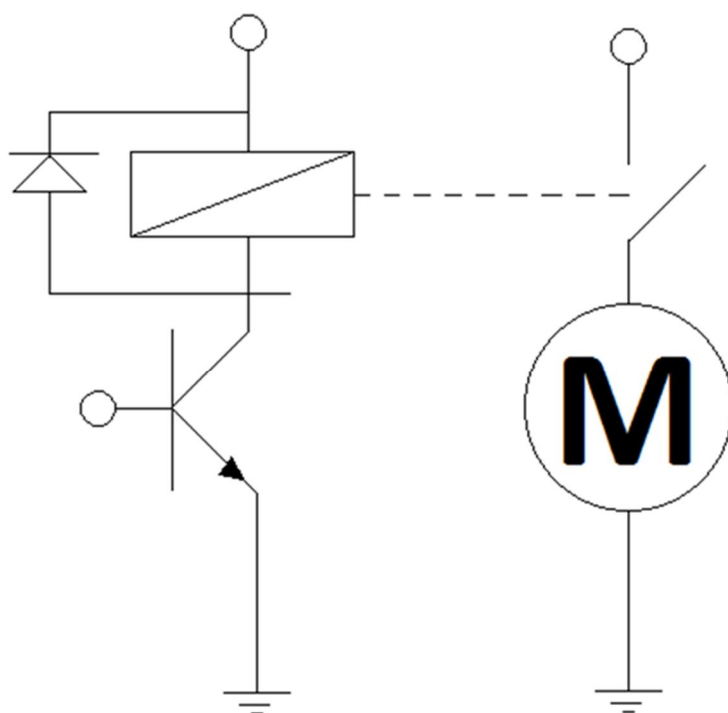
Tämän jälkeen tulee määrittää kytkintransistori. Koska transistorin ollessa täysin johtavassa tilassa kulkee kollektorin ja emiteerin kautta 12 voltia. Tällöin transistorin läpi kulkee virta I_c , joka on mitattu kelan synnyttämä 0,044 ampeerin virta.

Valittavan transistorin tulee olla edullinen ja kestää kollektroi emitteri jännite kerrottuna kahdella. Tämän lisäksi transistorilla tulee olla hyvä virran kestoisuus kollektorilla. Testikäyttöön voidaan valita 2N2222 NPN transistori. Kyseessä on yleiskäyttöinen transistori. Kun sopiva transistori on valittu, voidaan tarkastella sen virtavahvistusta. 2N2222 virtavahvistus h_{fe} on 100.

Tästä voimme määrittää kantavastukselle kulkevan virran I_b , joka on I_c/h_{fe} eli 0,00044A.

Näin ollen minimi kanta virta jolla kytkin on auki, on 0,44mA. Voimme kuitenkin kertoa tulosta kahdella ja pyöristää hieman vastausta, jolloin kantavirraksi saamme 1,0mA. Näin ollen kun mikro-ohjain loogisena tilana lähettää 5 voltia voimme laskea transistorin kantavastuksen, joka on U_b/I_b eli 5k Ω .

Testikäyttöön kytkentä on sopiva, mutta tuotteistamisessa on otettava huomioon että mikro-ohjaimen ja jalaksen ohjauksen virrat on erotettava optoerottimella estääksemme piikkivirrasta mahdollisesti aiheutuvan mikro-ohjaimen vikaantumisen



KUVIO 16. Jalaksen ohjaus releen avulla

4.2. Arduino

Arduino projekti on sekä Java-pohjainen avoimeen lähdekoodiin perustuva kehitys ympäristö että koealusta.

Arduino valittiin projektin koealustaksi useammastakin syystä. Ensinnäkin siihen oli tarjottu koulutusta ja avoimeen lähdekoodiin perustuen sen esimerkki koodeja saat- toi vapaasti käyttää suunnittelussa.

Selkeiden oppaiden ja esimerkkien vuoksi kynnys oppia Arduinon ohjelmointi ja käyt- tö ovat matalia. Laitteen ja kehitysympäristön suunnitellut tiimi on nähnyt paljon vaivaa sille että koealustan piirin ATmega328P:n ominaisuuksia on helppo käyttää. Esimerkkinä kiihtyvyyssanturin liittäminen suoraan piirin analogiatuloihin. Lisäksi arvo- jen lukeminen tapahtuu yhdellä käskyllä.

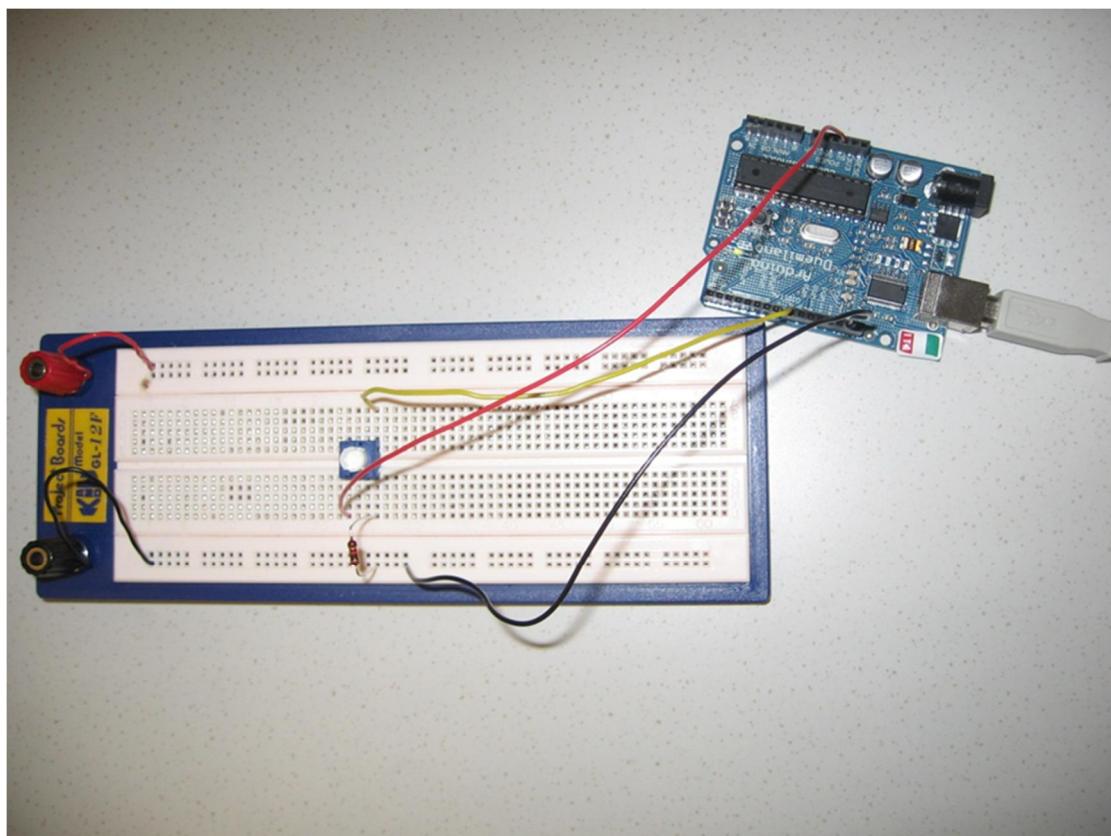
Alla on listattu katkelma esimerkki koodista jolla luetaan ADXL3xx kiihtyvyyssanturin arvot mikro-ohjaimelle ja tulostetaan kääntäjän omaan ikkunaan. Koodi kokonaisuus- dessaan on liitteenä 3

```
void loop()
{
  // print the sensor values:
  Serial.print(analogRead(xpin));
  // print a tab between values:
  Serial.print("\t");
  Serial.print(analogRead(ypin));
  // print a tab between values:
  Serial.print("\t");
  Serial.print(analogRead(zpin));
  Serial.println();
  // delay before next reading:
  delay(100);
}
```

Arduinon haittapuolena ovat sen käyttäjännitteet. Arduino ottaa normaalissa käytös- sä käyttäjännitteensä USB liitäntänsä kautta tietokoneelta. Näin ollen työtä varten tai

muuta käyttöä varten, jossa jännitteet otetaan suoraan tehonlähteeltä, tulee järjestelmää hieman muokata.

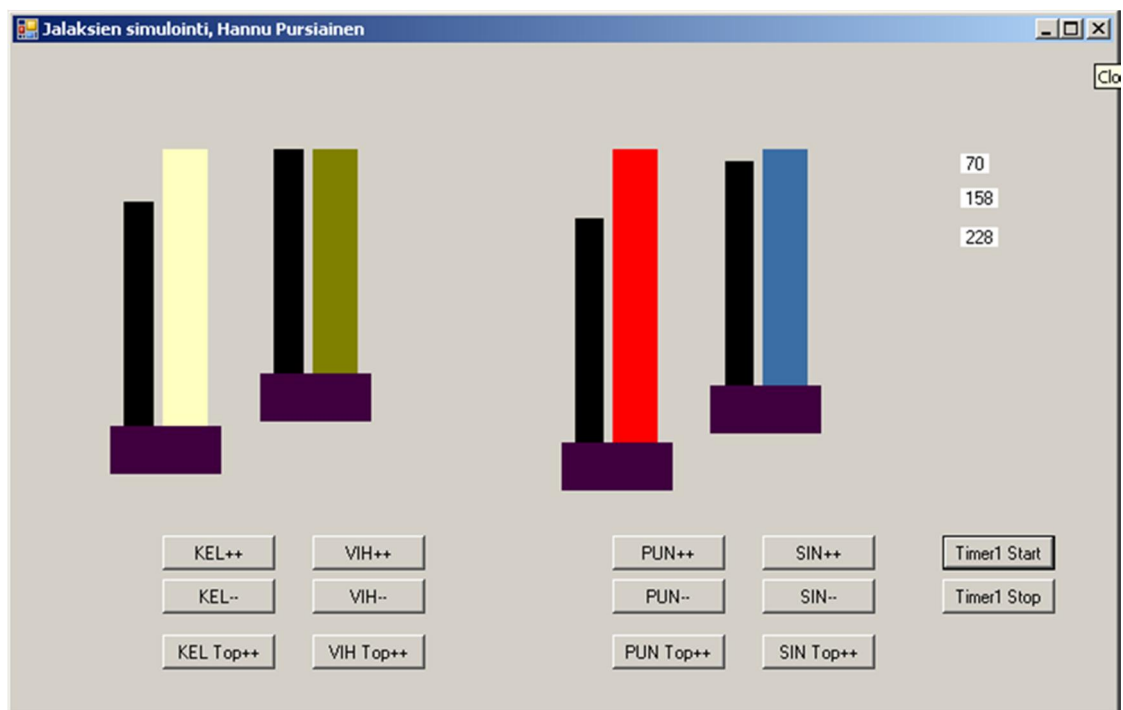
Toisaalta 5 voltia on helppo reguloida käyttöjännitteeksi 12 voltista olettaen, että käyttöjännite, joka tarvitaan asuntovaunun kaltevuuden mittaamiseen, otetaan suoraan auto akulta. Tuotteistamista varten tulisi rakentaa oma piirilevy, jossa otetaan huomioon kyseinen ongelma.



KUVIO 17. Arduino koe levy ja koealustalle tehty yksinkertainen painonappi kytkentä

4.3. Jalakset

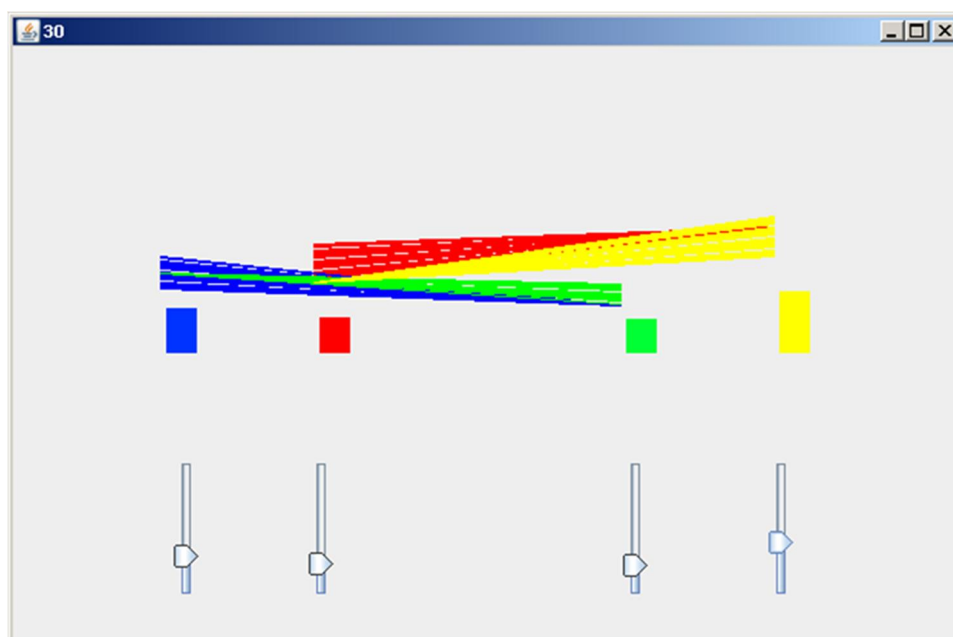
Koska testilaitetta ei pystytty rakentamaan, simuloitiin sekä jalasten toimintaa että kallistumaa. Kuviossa 18 esitetään kuinka jalakset toimivat. Purppuran värinen palkki pystypalkkien alla kuvaa maatasoa, johon musta palkki eli kokonaan auki oleva jalka on asetettu. Eriväriset palkit taas kuvastavat kuinka paljon yksittäisen jalaksen on liikuttava, jotta laite saavuttaa vaakatason.



KUVIO 18. Jalasten simulointi

4.4. Kallistuma

Kuvio 19 esittää kuinka kallistumaa simuloidaan. Värit kuvastavat eri jalaksia ja sitä kuinka kallistuma vaikuttaa niihin. Kuvassa ei pyritä korjaamaan tilannetta toisin kuin kuviossa 18. Tilanne näyttää sen kuinka paljon kullekin jalakselle aiheutuu kallistumaa.



KUVIO 19. Kallistuman simulointi

5. POHDINTA

Aihetta ei ollut helppo lähestyä, koska mitään valmista pohjaa ei löytynyt vaan ratkaisuja ongelmaan lähdettiin miettimään tyhjästä. Koska työ tehtiin myös itselle, työn seuranta oli puutteellista. Näistä syistä johtuen työ lähti käyntiin hitaasti, mikä oli lopulta hyvin rasittavaa ja aiheutti vastaavasti kiirettä loppupäässä.

Ongelmia tuotti myös vähäinen lähdemateriaali. Kaikki mitä kallistuman mittaamisesta tarvitsee tietää, oli kerrottu kahdella pdf-dokumentilla. Tarkemmat sovellutuskohdaksiin ratkaisuihin tuleekin hyödyntää valitun kiihtyvyyssanturin datalehteä. Vähäisen materiaalin vuoksi tasojen kallistuman ratkaiseminen on suurelta osin omaa pohdintaa lähdemateriaalia hyödyntäen.

Yleisestikin voi sanoa että tämän kaltaista järjestelmän suunnittelu sopii sellaiselle, joka tykkää nuuskia ongelmia ja löytää niihin vastauksia.

Se, että demolaitetta ei pystytty kasaamaan, oli isoin pettymys ja täten suurin osa työstä jäi pohdinnan varaan.

Olisin halunnut todentaa kahden akselin tarkemman suunnan määrityksen ja sen kuinka akselien liike toisiinsa nähden aiheuttaa virhettä.

Ensimmäisellä tarkoitetaan sitä kuinka kaksi kiihtyvyyssanturin akselia voidaan asemoida suhteessa putoamiskiihtyvyyteen. Halusin tarkastella asiaan sen vuoksi, että se ei ole välttämättä paras tapa mitata kaltevuutta. Toisen ongelman demoaminen olisi osoittanut, kuinka luotettavaa kallistuman mittaaminen on, kun laitetta kallistetaan kahteen suuntaan.

Työ tekijäänsä kuitenkin kiittää ja vaikka alku tuntui hankalalta, matka varrella syntyi useita pieniä oivalluksia. Varsinkin Arduinon ohjelmointi ja kallistumaa varten anturointia kiihtyvyyssanturin toiminnan selvittäminen tuotti ideoita soveltaa oppimaansa muuhun anturointiin ja anturoinnin liittämiseen sulautettuihin järjestelmiin ja tietokantoihin.

LÄHTEET

A beginner's guide to accelerometers. n.d. Viitattu 18.05.2011,
<http://www.dimensionengineering.com/accelerometers.htm>. kiihtyvyyssanturin valinta.

ATmega128L datalehti. n. d. Viitattu 04.06.2011,
http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2467.pdf

Measuring Tilt with Low-g Accelerometers. n.d. Viitattu 18.05.2011,
http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3461.pdf, Asemoinnin huomioiminen, kallistuskulman laskeminen.

MMA7361LC: $\pm 1.5g$, $\pm 6g$ Three Axis Low-g Micro machined Accelerometer. n.d. Viitattu 18.5.2011,
http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7361LC.pdf?fsp=1, impedanssisovitus.

Tilt Sensing Using Linear Accelerometers. n.d. Viitattu 18.05.2011,
http://www.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3107.pdf. Kulman mittaaminen kahdella akselilla.

What_is. n.d. Viitattu 04.06.2011, http://www.memsnet.org/mems/what_is.html

LIITTEET

LIITE 1: MMA7361LC kiihtyvyyssanturin ensimmäinen datalehti.

Freescale Semiconductor
Technical Data

Document Number: MMA7361LC
Rev 0, 03/2010

RoHS

±1.5g, ±6g Three Axis Low-g Micromachined Accelerometer

The MMA7361LC is a low power, low profile capacitive micromachined accelerometer featuring signal conditioning, a 1-pole low pass filter, temperature compensation, self test, 0g-Detect which detects linear freefall, and g-Select which allows for the selection between 2 sensitivities. Zero-g offset and sensitivity are factory set and require no external devices. The MMA7361LC includes a Sleep Mode that makes it ideal for handheld battery powered electronics.

Features

- 3mm x 5mm x 1.0mm LGA-14 Package
- Low Current Consumption: 400 μ A
- Sleep Mode: 3 μ A
- Low Voltage Operation: 2.2 V – 3.6 V
- High Sensitivity (800 mV/g @ 1.5g)
- Selectable Sensitivity ($\pm 1.5g$, $\pm 6g$)
- Fast Turn On Time (0.5 ms Enable Response Time)
- Self Test for Freefall Detect Diagnosis
- 0g-Detect for Freefall Protection
- Signal Conditioning with Low Pass Filter
- Robust Design, High Shocks Survivability
- RoHS Compliant
- Environmentally Preferred Product
- Low Cost


Typical Applications

- 3D Gaming: Tilt and Motion Sensing, Event Recorder
- HDD MP3 Player: Freefall Detection
- Laptop PC: Freefall Detection, Anti-Theft
- Cell Phone: Image Stability, Text Scroll, Motion Dialing, E-Compass
- Pedometer: Motion Sensing
- PDA: Text Scroll
- Navigation and Dead Reckoning: E-Compass Tilt Compensation
- Robotics: Motion Sensing

MMA7361LC

MMA7361LC: XYZ AXIS
ACCELEROMETER
 $\pm 1.5g$, $\pm 6g$

Bottom View



14 LEAD
LGA
CASE 1977-01

Top View

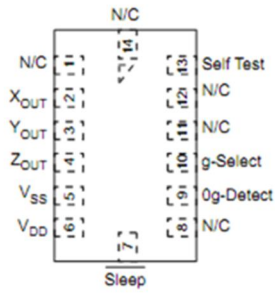
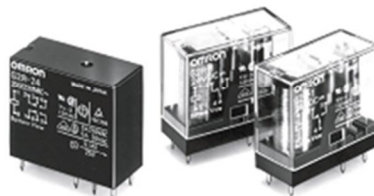


Figure 1. Pin Connections

ORDERING INFORMATION				
Part Number	Temperature Range	Package Drawing	Package	Shipping
MMA7361LCT	-40 to +85°C	1977-01	LGA-14	Tray
MMA7361LCR1	-40 to +85°C	1977-01	LGA-14	7" Tape & Reel
MMA7361LCR2	-40 to +85°C	1977-01	LGA-14	13" Tape & Reel

OMRON**PCB Relay****G2R****A Power Relay for a Variety of Purposes
with Various Models**

- Conforms to VDE0435 (VDE approval: C250 insulation grade), UL508, CSA22.2, SEV, SEMKO.
- Meets VDE0700 requirements for household products according to VDE0110.
- Clearance and creepage distance: 8 mm/8 m.
- Models with CTI250 material available.
- High-sensitivity (360 mW) and high-capacity (16 A) types available.
- Double-winding latching type available.
- Plug-in with test button and quick-connect terminals available.
- Highly functional socket available.

**Ordering Information**

Classification		Enclosure ratings	Coil ratings	Contact form			
				SPST-NO	SPDT	DPST-NO	DPDT
PCB terminal	General-purpose	Flux protection	AC/DC	G2R-1A	G2R-1	G2R-2A	G2R-2
		Fully sealed		G2R-1A4	G2R-14	G2R-2A4	G2R-24
	Bifurcated contact	Flux protection	DC	G2R-1AZ	G2R-1Z	---	---
		Fully sealed		G2R-1AZ4	G2R-1Z4	---	---
	High-capacity	Flux protection	AC/DC	G2R-1A-E	G2R-1-E	---	---
High-sensitivity	Flux protection	DC	G2R-1A-H	G2R-1-H	G2R-2A-H	G2R-2-H	
	Double-winding latching	Flux protection		G2RK-1A	G2RK-1	G2RK-2A	G2RK-2
Plug-in terminal	General-purpose	Unsealed	AC/DC	---	G2R-1-S	---	G2R-2-S
				---	G2R-1-SN	---	G2R-2-SN
	---		G2R-1-SNI	---	G2R-2-SNI		
	---		G2R-1-SD	---	G2R-2-SD		
	---		G2R-1-SND	---	G2R-2-SND		
	---		G2R-1-SNDI	---	G2R-2-SNDI		
Plug-in terminal (Bifurcated crossbar contact)	General-purpose		AC/DC	G2R-1A3-S	G2R-13-S	---	---
				G2R-1A3-SN	G2R-13-SN	---	---
	LED indicator and diode		DC	G2R-1A3-SND	G2R-13-SND	---	---

Note: 1. When ordering, add the rated coil voltage to the model number.

Example: G2R-1A 12 VDC

Rated coil voltage

2. OMRON has also prepared the above relays with AgSnIn contacts, which are more tolerant of large inrush currents and physical movement compared with relays with standard contacts. When ordering, add "-ASI" to the model number.

Example: G2R-1A-ASI

3. Standard, NO contact type relays are TV-3 class products in accordance with the TV standards of the UL/CSA. Models with AgSnIn contacts are TV-5 class products.

Example: G2R-1A-ASI

When ordering a TV-8 class model, insert "TV8" into the model number as follows:

Example: G2R-1A-TV8-ASI

4. Models with CTI250 material are also available.

Contact your OMRON representative for more details.

Liite 3 Arduino ADXL3xx kiihtyvyyssanturin luku koodi

```

/*
ADXL3xx
Reads an Analog Devices ADXL3xx accelerometer and communicates the
acceleration to the computer. The pins used are designed to be easily
compatible with the breakout boards from Sparkfun, available from:
http://www.sparkfun.com/commerce/categories.php?c=80
http://www.arduino.cc/en/Tutorial/ADXL3xx
The circuit:
analog 0: accelerometer self test
analog 1: z-axis
analog 2: y-axis
analog 3: x-axis
analog 4: ground
analog 5: vcc

created 2 Jul 2008
by David A. Mellis
modified 4 Sep 2010
by Tom Igoe

This example code is in the public domain.
*/
// these constants describe the pins. They won't change:
const int groundpin = 18;    // analog input pin 4 -- ground
const int powerpin = 19;    // analog input pin 5 -- voltage
const int xpin = A3;        // x-axis of the accelerometer
const int ypin = A2;        // y-axis
const int zpin = A1;        // z-axis (only on 3-axis models)
void setup()
{
  // initialize the serial communications:
  Serial.begin(9600);

  // Provide ground and power by using the analog inputs as normal
  // digital pins. This makes it possible to directly connect the
  // breakout board to the Arduino. If you use the normal 5V and
  // GND pins on the Arduino, you can remove these lines.
  pinMode(groundpin, OUTPUT);
  pinMode(powerpin, OUTPUT);
  digitalWrite(groundpin, LOW);
  digitalWrite(powerpin, HIGH);
}
void loop()
{
  // print the sensor values:
  Serial.print(analogRead(xpin));
  // print a tab between values:
  Serial.print("\t");
  Serial.print(analogRead(ypin));
  // print a tab between values:
  Serial.print("\t");
  Serial.print(analogRead(zpin));
  Serial.println();
  // delay before next reading:
  delay(100);
}

```