



TEKNISKA HÖGSKOLAN

HÖGSKOLAN I JÖNKÖPING

Användning av accelerometrar för detektering av rörelse i
Husqvarna ABs gräsklippare Automower

Boris Ivanic

EXAMENSARBETE 2008
Elektroteknik



TEKNISKA HÖGSKOLAN

HÖGSKOLAN I JÖNKÖPING

Use of accelerometers for detection of movement in Husqvarna's lawnmower Automower

Boris Ivanic

Detta examensarbete är utfört vid Tekniska Högskolan i Jönköping inom ämnesområdet elektroteknik. Arbetet är ett led i den treåriga högskoleingenjörsutbildningen. Författaren svarar själv för framförda åsikter, slutsatser och resultat.

Handledare: Adam Lagerberg

Omfattning: 15 poäng (C-nivå)

Datum: 2008-07-07

Arkiveringsnummer:

Abstract

In order to detect movements and vibrations on different appliance, especially robots and self-going devices are used different sensors. One of the most used movement sensors are accelerometers. They are three different types of accelerometers one-axes, two-axes and three-axes. They can be analogue or digital. Husqvarna AB uses an accelerometer to detect movements of their self-going lawnmower Automower. Since it begins to turn up others sensors on the market and the sensor which today uses in Husqvarna's lawnmower don't fulfils all functions there is a need to find other solutions. What sensors can be found on a market and which new has come? How can they be used best and which difference is between them? How can they use to detect movements in x, y and z direction and how can they read different movements to detect collision, inclination and lift? Sensor analysis will be done to find out how they can be used in this matter and an big analysis will be done to find out how a sensor witch already is in a lawnmower can be use on the better ways?

Sammanfattning

För att kunna detektera rörelse och vibrationer på olika anordningar och framförallt robotar och självgående maskiner används olika sensorer. En av de mest använda rörelsesensorer är accelerometer. Det finns en uppsjö av olika utföringar som kan vara med en axel, två axlar eller tre axlar. Accelerometrar finns som digitala eller analoga. Husqvarna AB använder en sådan sensor för att detektera rörelse på sin självgående gräsklippare Automower. Eftersom det börjar dyka upp andra sensorer på marknaden och den sensor som används idag uppfyller inte alla funktioner finns det behov av att lägga tid på att se vad kan åstadkommas med en sådan sensor. Vilka sensorer kan hittas på marknaden och vilka nya har dykt upp? Hur kan de användas på bästa sätt och vad skiljer de åt? Hur kan de användas för att detektera rörelse i x, y, z-led och hur kan de läsa av olika rörelse för att detektera krock, lutning och lyft? Det skall göras analys för att se hur olika sensorer reagerar och hur kan de användas på bästa sätt. Det skall utforskas hur den sensor som redan sitter kan användas på ett bättre sätt.

Nyckelord

Accelerometer, MEMS, krockdetektering, larm, filter, signalbehandling, IMU, ADIS.

Innehållsförteckning

Användning av accelerometrar för detektering av rörelse i Husqvarna ABs gräsklippare Automower.....	1
1 Inledning	5
1.1 BAKGRUND	5
1.2 SYFTE OCH MÅL	5
1.3 AVGRÄNSNINGAR	6
1.4 DISPOSITION.....	6
2 Teoretisk bakgrund	7
2.1 HUR ACCELEROMETERN FUNGERAR	7
2.2 FILTER OCH SIGNALBEHANDLING	10
3 Genomförande	12
4 Resultat	17
4.1 KROCKDETEKTERING.....	17
4.2 LARM	28
4.3 DETEKTERING AV SLIRNING.....	32
4.4 MARKNADSUNDERSÖKNING	33
5 Slutsats och diskussion	34
6 Referenser.....	36
7 Sökord	37

Figure 1 <i>Den enkla modellen av accelerometern</i>	8
Figure 2 <i>Kapacitiv modell av accelerometer</i>	8
Figure 3 <i>Fem krocker mot nosen</i>	13
Figure 4 <i>Lyfta upp från marken (försök att stjäla)</i>	13
Figure 5 <i>Utgångsspänning beroende av orientering</i>	14
Figure 6 <i>Skalade värde på X_Y_Z axlar (stilla)</i>	15
Figure 7 <i>Frekvensspektrum (går runt utan krock)</i>	17
Figure 8 <i>Frekvensspektrum (går runt med 5 krocker)</i>	18
Figure 9 <i>Signalens längd vid krock</i>	18
Figure 10 <i>X axel värde (går runt utan krock) utan LPF</i>	19
Figure 11 <i>X axel värde (går runt utan krock) med LPF $f_c=9,375$ Hz</i>	20
Figure 12 <i>X axel värde (går runt utan krock) med LPF $f_c=1,56$ Hz</i>	20
Figure 13 <i>X axel värde med LPF $f_c=9,375$ Hz (krock mot nosen 5ggr)</i>	21
Figure 14 <i>Acceleration medel av 7 samplar (krock mot nosen 5ggr)</i>	22
Figure 15 <i>Acceleration medel av 7 samplar (går runt)</i>	22
Figure 16 <i>X axel värde (krock bak) med BPF $1,875\text{Hz} < f < 6,25\text{Hz}$</i>	23
Figure 17 <i>Längden på en krockpuls efter filtrering med BPF</i>	24
Figure 18 <i>Summa av 29 samplar (går runt1 utan krock)</i>	25
Figure 19 <i>Summa av 29 samplar (går runt3 utan krock)</i>	25
Figure 20 <i>Summa av 29 samplar (krock1)</i>	26
Figure 21 <i>Summa av 29 samplar (krock2)</i>	26
Figure 22 <i>BPF $1,875\text{Hz} < f < 6,25\text{Hz}$</i>	27
Figure 23 <i>Z axel värde vid lyft horisontellt mot marken</i>	29
Figure 24 <i>Z axel värde vid långsam lyft (summa 60 samplar)</i>	29
Figure 25 <i>Z axel värde vid vanlig gång (summa 60 samplar)</i>	30
Figure 26 <i>Hastighetskurvan vid långsam lyft</i>	31
Figure 27 <i>Avstånd från marken vid långsam lyft</i>	31

I Inledning

Sensorer har använts ganska länge för att på ett lämpligt sätt beskriva förändringar i olika system, detektera olika värde och med hjälp av dem reglera dessa. Den här rapporten beskriver en av mycket användbara sensorer inom autonoma (självgående) maskiner, bil industri och dylikt nämligen en accelerometer. Rapporten försöker lösa problemen på vilket sätt en accelerometer kan användas för att detektera krock, lutning, larva vid förändring av läge osv.

I.1 Bakgrund

Husqvarna AB har byggt en självgående gräsklippare Automower [1] som har funnits länge på marknaden. Det finns några olika modeller som går att köpa med olika funktioner och alla dessa gräsklippare använder olika sensorer för att kunna göra sina uppgifter. Eftersom en accelerometer är en relativt billig sensor och dess pris sjunker hela tiden blev det aktuellt att utforska möjligheterna med den.

I.2 Syfte och mål

Husqvarna AB som är uppdragsgivare har som mål med den här uppgiften följande:

1. Att få en marknadsöversikt över accelerometrar och motsvarande sensorer (mikrogyro, elektronisk kompass) som möjligtvis kan användas i stället för den befintliga accelerometer som redan sitter i deras gräsklippare. Analysera fördelar och nackdelar mellan respektive sensorer och jämföra dem.
2. Att få en analys av den befintliga accelerometer som redan sitter i gräsklipparen för att kunna använda den för detektering av krock och lyft (stöld). Testa och analysera på vilket sätt kan man tolka signaler från accelerometer för att underlätta gräsklipparens vridning i backen och på plan mark.
3. Se över andra möjligheter som accelerometer kan användas till

Vad kan man använda accelerometer till och hur kan den användas för att detektera rörelse i självgående maskiner? Vilka andra möjligheter kan finnas med användning av accelerometer i dessa sammanhang?

Som tyngdpunkten anses punkt 2 i företagets mål.

I.3 Avgränsningar

Rapporten begränsas på den teoretiska delen. Med hjälp av analys och vissa matematiska funktioner samt verktyg som Matlab och Excel skulle lämpliga lösningar hittas.

I.4 Disposition

Inledningen på rapporten kommer att beskriva den teoretiska delen av fysiken som behövs för att kunna förklara hur en accelerometer är byggd. Försättningen beskriver analysen och på vilket sätt den är gjord. Vilka antagande togs innan analysen och uppsamling av data gjordes beskrivs i genomförande och efter läggs resultaten fram. I slutet av rapporten ges diskussion och reflektion.

2 Teoretisk bakgrund

2.1 Hur accelerometern fungerar

För att kunna förstå hur en accelerometer fungerar måste vissa av fysikens lagar vara kända. Eftersom accelerometern är en rörelsesensor som är känslig för accelerationer så måste Newtons rörelselagar nämnas i detta sammanhang. Hastigheten är förändring av läge under en viss tidsperiod och kan skrivas som

$$v(t) = \frac{dx(t)}{dt}$$

medan accelerationen är förändring av hastigheten inom en viss tidsintervall

$$a(t) = \frac{dv(t)}{dt} = \frac{d^2x(t)}{dt^2}.$$

Newtons andra lag säger att om kroppens massa är konstant då är kraften \mathbf{F} som ger kroppen med massa \mathbf{m} acceleration \mathbf{a} lika med

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}.$$

Förståelse för de här formell är grunden för att kunna förklara hur en accelerometer är uppbyggd. Det finns olika utförande av accelerometrar och olika tekniker som används för att tillverka dem. Några av dem är:

- Potentiometriska
- Piezoelektriska
- MEMS (Microelectromechanical systems)
- Kapacitiva

Det är bara en liten del av dem som går att hitta på marknaden och det kommer hela tiden nya teknologier och nya användningsområde för dem. För att kunna förklara på ett bra sätt hur en accelerometer fungerar tas den enklaste modellen fram. Figur 1 föreställer en kropp med en viss massa \mathbf{m} som är kopplad med en fjäder till ett fäste och kan röra sig efter en frihetsgrad. Om sensorn accelereras förlängs eller förkortas fjädern (till exempel från X_0 till X_1). Om friktionen försummas som väldigt liten då kan det skrivas att

$$m \cdot a = k \cdot \Delta X$$

där \mathbf{k} är fjäderns konstant, $\Delta \mathbf{X}$ är fjäderns förlängning från utgångsläge, \mathbf{m} är kroppens massa och \mathbf{a} är accelerationen som kroppen utsätts för. Från denna ekvation kan \mathbf{a} räknas fram

$$a = \frac{k}{m} \cdot \Delta X$$

och därmed sägas att om k och m är konstanta variabler då är accelerationen beroende av ΔX (kroppens förflytning)[2].

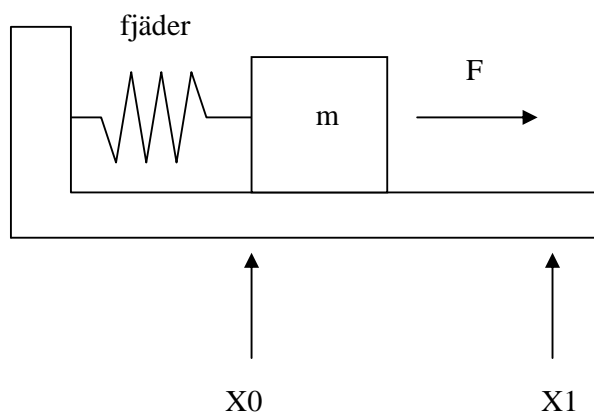


Figure 1 Den enkla modellen av accelerometern

Den här principen kan utnyttjas för att mäta acceleration. Om kroppen kopplas på ett lämpligt sätt till en potentiometer då kommer motstånd i potentiometern att ändras då kroppen ändrar sitt läge. Detta är bara en förenklad modell som har som mål att förklara hur en accelerometer är uppbyggd. Ett annat exempel är att koppla två stycken kondensatorer som i Figur 2. Två plattor är fasta medan den tredje är kopplad till en kropp som rör sig och på det viset påverkar den tredje plattan som kommer att flyttas upp och ned mellan plattorna 1 och 2.

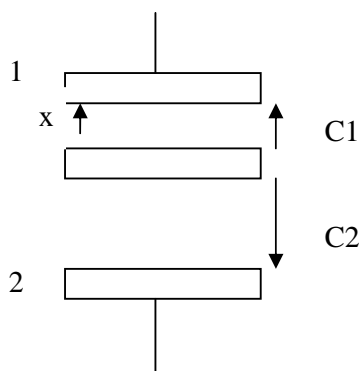


Figure 2 Kapacitiv modell av accelerometer

Det kommer då att finnas två kondensatorer C1 och C2 vars kapacitans kommer att påverkas av den tredje plattans avstånd till dem. Kapacitansen är

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

där ϵ_r och ϵ_0 är konstanter bundna till materials egenskaper av dielektrikum medan A är plattornas area och d är avstånd mellan två plattor. Ändras det avstånd d med längd x då ändras kapacitansen C1 och C2.

$$C_1 = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{(d-x)} \quad \text{och} \quad C_2 = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{(d+x)} \quad [3]$$

Om kondensatorerna laddas upp till en spänning u då är spänningen beroende av kondensatorernas kapacitans C enligt formeln

$$u(t) = \frac{1}{C} \cdot q(t) = \frac{1}{C} \cdot \int_0^t i(\tau) d\tau.$$

Varje förändring i acceleration kommer att flytta plattan närmare eller längre till plattorna 1 och 2 och på det viset ändra kapacitans till C1 och C2 som i sin tur ändrar skillnad mellan spänning u_1 och u_2 . På det här viset kan accelerationen avläsas som en spänningsvärde skillnad. Den här principen används i dagens MEMS accelerometrar och accelerometern som används i detta examensarbete är av denna typ. Accelerometrar byggs med en massa m som rör sig antingen i bara en riktning eller så att den kan röra sig i alla tre riktningar x , y och z . Är det bara en riktning som gör att bara acceleration i ena riktning kan avläsas då kallas den en-axlig accelerometer i de andra fallen kan den alltså bli två-axlig eller tre-axlig. Accelerometern kan vara analog eller digital beroende av hur utgångssignalen levereras. Egenskaper som är viktiga att känna till vid val av accelerometer är:

- Arbetsområde (dynamic range) är den maximala amplituden som accelerometern kan detektera innan den förvränger eller klipper signalen. Den anges ofta i förhållande till g (som är tyngdacceleration $g=9,81\text{m/s}^2$) till exempel $\pm 6g$.
- Känslighet (sensitivity) som visar hur mycket utgångssignalen är känslig till detekterat acceleration.
- Resonans frekvens (resonance frequency) är frekvensen som gör att accelerometern börjar självsvänga. Frekvensområde som användes borde ligga mycket under resonans frekvensen.
- Brus (noise) som ofta uttrycks med $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ och är beroende av frekvensen. Vid låga frekvenser bildas mer brus än vid de höga frekvenserna.

- Olinjearitet (non-linearity) som visar avvikelse från den linjära responsen mellan acceleration (ingång) och spänningen (utgång).
- Temperatur arbetsområde och temperatur känslighet visar hur pass sensorn är känslig till temperatur ändringar och hur utgångar påverkas med temperatur ändringar samt inom vilken temperatur område sensorn kan användas.
- Precision (accuracy)

Beroende av vad en accelerometern skall användas till så borde egenskaperna ovan tas med i analysen. Eftersom en accelerometer detekterar acceleration och

accelerationen som är $a(t) = \frac{dv(t)}{dt} = \frac{d^2x(t)}{dt^2}$ kan utvecklas vidare för att avläsa

hastighet och distans så finns det olika område där accelerometrar kan användas. Den kan användas för att detektera vibrationer, krock, lutning (tilt) på ett objekt eller bara acceleration. Ett exempel på vad som kan studeras vid tilt-detektion är DC precision, nolldrift (hur mycket utgången driver iväg efter en viss tid även om sensor är opåverkad) och upplösning [4]. Vid val av sensor som skall detektera en krock eller vibrationer så borde hänsyn tas till arbetsområde (krockar kan skapa höga värden på amplituden upp till 500 g eller ännu mer), bandbredd och amplitud stabilitet. Det borde ställas en rad frågor innan en accelerometer väljs. Vad är det för frekvensområde som skall avlyssnas, vad det är för krock amplituder som skall avlyssnas, vad det är för temperatur område där sensor skulle användas, finns det mycket brus som kommer att påverka sensorn osv.

2.2 Filter och signalbehandling

Signaler som fås ut från accelerometern är ofta i behov av att filtreras eller bearbetas på något sätt för att få rätt information från dem. Därför är det viktigt att känna till vissa matematiska modeller som används för att kunna bearbeta signaler på rätt sätt. Signalen som fås från accelerometern behöver ofta samplas och då är det viktigt att känna till Nyquiststeorem som påvisar att om en signal skall återskapas rätt efter sampling så måste den samplas med minst det dubbla frekvensen som den högsta frekvensen som skall synas. Det vill säga om den samplade signalen innehåller frekvens 1 kHz och efter sampling skulle den återskapas rätt då måste samplingen göras med en frekvens som är minst 2 kHz. Alla frekvenser som då ligger under 1kHz kommer att återskapas rätt men på grund av vinkningsproblem kan även högre frekvenser att synas i den samplade signalen. De här frekvenserna kallas Alias och kan filtreras bort med hjälp av till exempel ett analogt lågpasfilter. När signalen är samplad då görs ofta analys av signalens frekvenser eller vidare bearbetning med hjälp av olika filter för att få signalen så ren från brus som möjligt.

Filter som kan användas kan vara analoga eller digitala. Analoga filter används innan samplingen görs och de är ofta billiga, snabba och har större arbetsområde (dynamic range) för både frekvens och amplitud. Digitala filter har mycket bättre precision och är inte beroende av elektroniska komponenter. De kan implementeras väldigt lätt i en DSP (Digital Signal Processor) och kan uppdateras vid behov [5].

Med hjälp av Fast Fourier Transformer (FFT) kan signalen omvandlas till DFT (Discrete Fourier Transform) och sedan kan frekvensanalys göras. I Matlab finns en del funktioner som gör detta enkelt [6].

3 Genomförande

För att kunna lösa alla uppgifter i det här examensarbetet behövdes en del accelerometer analys, signal analys, digitala filter och några verktyg som Matlab, Excel och Husqvarnas egen programvara för avläsning av accelerometer som redan sitter på deras kort i gräsklipparen Automower. Analysen börjades med att söka information på Internet om accelerometrar och om hur dessa fungerar. Tiden las på att hitta andra möjliga alternativ till att möjligtvis ersätta eller komplettera accelerometer med någon annan typ av sensor som är bättre eller billigare. Det största arbete och mest av använda tiden användes för att analysera uppsamlad data från Husqvarnas egen programvara. Husqvarna använder ett eget program för att kunna göra service och felsökning på sina gräsklippare. Programvaran har möjlighet att avläsa från processor i gräsklipparen via USB i en PC hur accelerometer reagerar på ändringar i accelerationen samt en rad andra funktionen som hastigheten på de olika hjul, lutningsvinkel på gräsklipparen och mycket annat. Med hjälp av denna programvara hämtades data direkt från deras analog to digital converter (ADC) som i sin tur omvandlade den analoga signalen från den befintliga accelerometerns tre utgångar (tre axlar) Xut, Yut, och Zut. Sampling tiden kunde ställas på olika värde innan data hämtades men den högsta hastigheten var på 16ms och den användes vid data insamling på alla tester. För att kunna se hur accelerometer reagerar på ändringar i accelerationen och för att kunna lösa uppgifter om krockdetektering, larmdetektering och hjulslirning som kan uppstå vid halt underlag så gjordes en hel del försök med att köra gräsklipparen runt i trädgården. Med hjälp av en bärbar dator uppkopplad mot gräsklipparen och med Husqvarnas programvara i gjordes olika körningar med gräsklipparen. Det blev omkring 50 tal olika försök som spelades in. Gräsklipparen kördes helt utan några krockar inblandade, sedan kördes den med några exakt bestämda antal krockar från olika håll, sedan lyftes den upp från olika håll och sedan samlades data när gräsklipparen stod helt stilla. Vid uppsamling av data speciellt när man testade krockdetektering så simulerades krock som kom mot nosen, bak eller sidan av gräsklipparen. Krock simulerades med att man satte foten mot gräsklipparen men med olika tidsintervaller mellan krockar så att det går att se hur kurvan kommer att se ut vid olika hastigheter. Ett exempel på en sådan kurva kan ses på figur 3 där det visas hur alla tre axlar reagerar på fem krockar. För att kunna analysera vad är det som händer när någon försöker stjäla gräsklipparen så gjordes några lyft med olika hastigheter. Det antogs att när någon vill stjäla gräsklipparen var mest naturliga att någon skulle bara koma och lyfta upp den från marken. Ofta har man inte mycket tid på sig och det görs väldigt snabbt men när test gjordes testades även alternativet att lyfta upp den sakta. Uppsamlad data ser ut som på Figur 4.

När det gäller hjulslirning som kan uppstå vid halt underlag testades hur y axeln reagerar när gräsklipparen svänger åt vänster och åt höger för att kunna se om det är möjligt att jämföra skillnad på hjulhastigheten, som gör att gräsklipparen svänger och det utslag som y axel ger på Yut. Det antas att skillnad på hjulhastigheten som skapar en acceleration som leder till svängning borde vara proportionell mot accelerationen som y axel detekterar på utgången Yut.

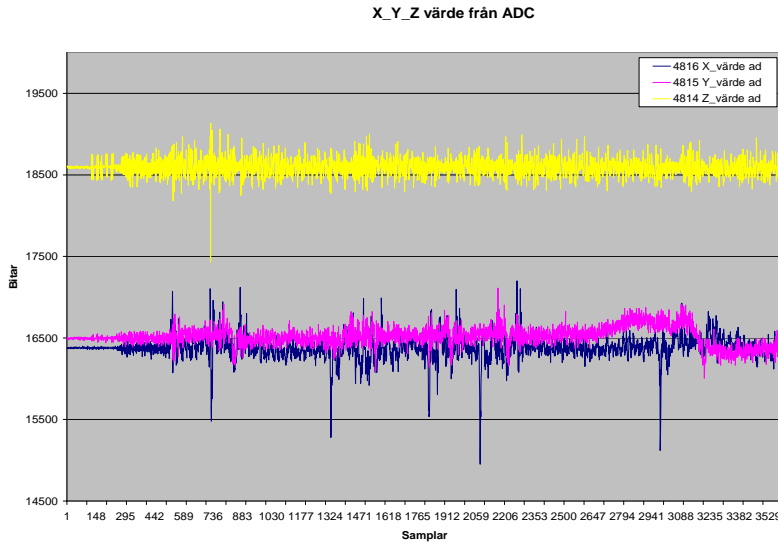


Figure 3 Fem krockar mot nosen

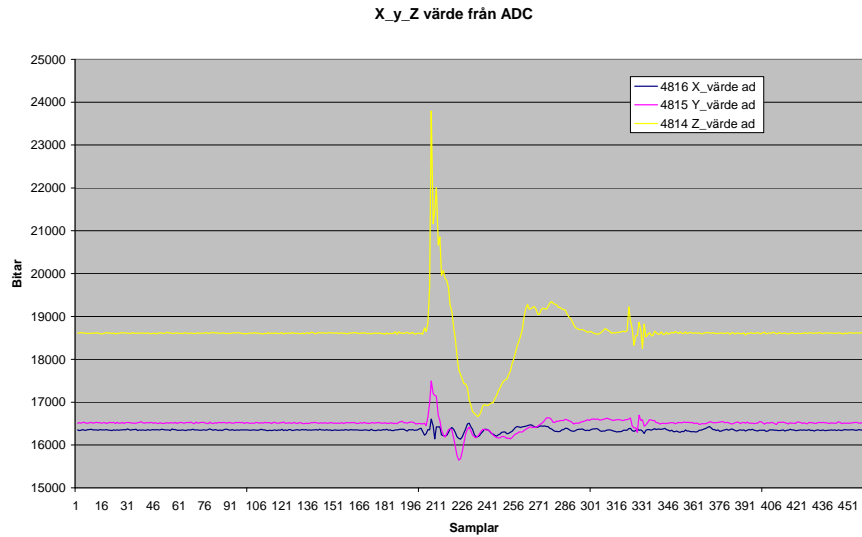


Figure 4 Lyfta upp från marken (försök att stjäla)

All data som samlades analyserades med hjälp av Excel och Matlab. Innan analysen påbörjades så gjordes vissa ändringar och beräkningar med den insamlade data. Den accelerometern som redan sitter i gräsklipparen ger följande spänningsvärde på utgångar beroende på axlarnas placering Figur 5.

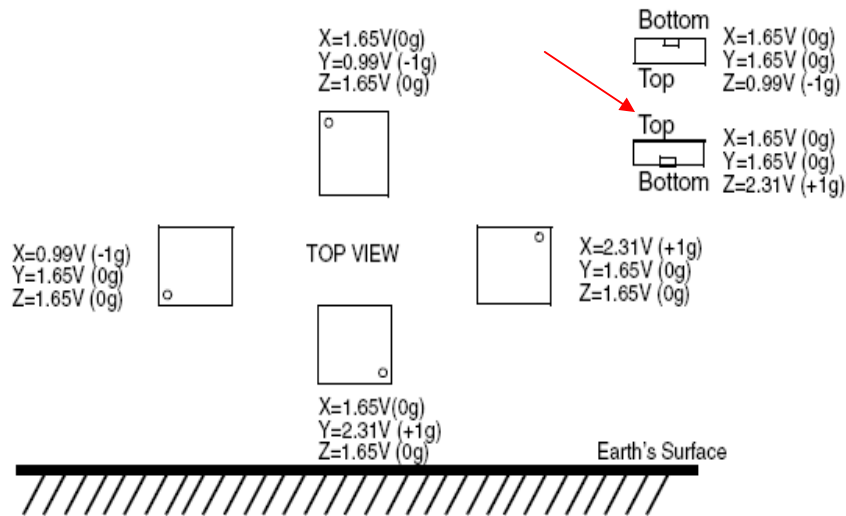


Figure 5 Utgångsspänning beroende av orientering

Accelerometer sitter på kortet så som den röda pilen visar i Figur 5, alltså med x och y axlar parallella med marken och z axeln som är vertikal mot marken. Spänningen på Xut och Yut kan då pendla mellan 0,99V och 2,31V vid den minimala accelerationen respektive maximala. Det är en skillnad med 1,32V mellan den maximala och den minimala spänningen på Xut och Yut. Eftersom processor som används för att omvandla den analoga spänningssignalen till den digitala signalen har en 12 bitars A/D konverter som ger möjlighet att visa signalen med 4096 olika värde ($2^{12}=4096$) från 0 till 4095 då föreställer en bit 0,8mV ($3,3V/4096\text{bit}=0,8\text{mV/bit}$) med tanke på att matningsspänningen är 3,3V.

En annan sak som gjordes för att göra analysen lite mer överskådlig var att skala värdena till just 12 bitars område. Det som skulle användas som nolläge (gräsklipparen står stilla på plan mark (0°)) gavs värde 2048 bitar medan maximalla värdet på 3,3V motsvarade 4095 bitar och den minimalla på 0V motsvarade 0 bitar. För att kunna göra detta analyserades insamlad data när gräsklipparen står stilla på plan mark och där räknades fram medelvärde på signalen för respektive axlar. Medelvärde för x axel blev 16362 bitar, y axel blev 16522 bitar och för z axel blev det 18612 bitar. Sedan gjordes skalningen med de här värdena som utgångspunkt. För x axel blev det $16362-2048=14314$ som sedan drogs bort från de ursprungliga värden, och samma sak gjordes med y axel och z axel Figur 6.

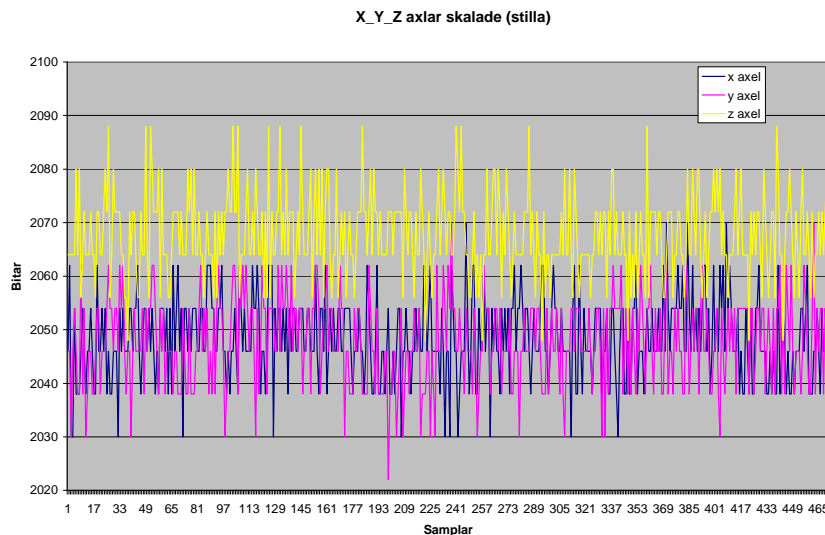


Figure 6 Skalade värde på X_Y_Z axlar (stilla)

De nya värdena som blev efter skalning användes sedan för att kunna beräkna acceleration som utvecklades i olika riktningar. Värde i bitar multiplicerades med 0,8mV som en bit föreställde och sedan jämfördes med 1,65V som motsvarar acceleration för 0g och skillnaden mellan de dividerades sedan med 220mV/g som är känsligheten för accelerometer. Allt detta dividerades med 3 för att accelerometer som används har arbetsområde mellan -3g till +3g och sedan togs det absoluta värdet av det hela $a/g = \text{ABS}(((\text{bitar} * 0,8\text{mV/bit} - 1,65\text{V}) / 220\text{mV/g}) / 3)$. På det här sättet beräknades acceleration gentemot gravitations acceleration g . Det är viktigt att påpeka att spänningen som accelerometer ger ut på sina utgångar är beroende av acceleration som utvecklas i olika riktningar (x, y, z axlar) och den accelerationen föreställs i förhållande till g . Detta kommer att användas som utgångspunkt i senare analys av den insamlade data. Hänsyn togs inte till temperatur kompensering eller linjearitetsfel som antogs Husqvarna redan hade kännedom om.

Analysen gjordes med hjälp av både Excel och Matlab. Allt data som samlades in fördes automatiskt från Husqvarnas programvara till Excel och därför användes en kombination av Excel och Matlab. Excel var också smidig för att kunna spara den insamlade informationen och för att kunna bearbeta den senare där det inte fanns Matlab. Matlab användes framför allt för att kunna skapa olika filter och kunna testa de på den insamlade data. Den användes också för att kunna analysera frekvensspektrum som olika signaler innehöll. De huvudfunktionerna som användes i Matlab var fft, filter, butter, freqz och en rad mer vanliga som plot osv. När signalen transformerades med fft så användes 512 punkter och frekvens på 62,5 Hz [6].

4 Resultat

Tyngdpunkten i analysen blev att hitta en bra lösning för krockdetektering även om det gjordes en del analys om hur de andra frågorna kan besvaras.

4.1 Krockdetektering

För att detektera krock med en accelerometer gjordes analys av hur x axel (Xut) reagerar på krock. Insamlad data från tillfälle när gräsklipparen bara gick omkring utan några krockar analyserades i Matlab där frekvensspektrum togs fram. Fyra olika tillfälle analyserades i första hand och jämfördes sedan med andra liknande inspelningar som visade att det inte avvek mycket från de fyra som analyserades från första början. Därför fortsatte analysen med bara de här fyra tillfälle. Signalen som spelades in samplades med tidsintervall på 16 ms som betyder i sin tur en frekvens på 62,5 Hz. Enligt Nyquist teorem borde då frekvenserna som fångats rätt bli från 0 Hz till hälften av samplade frekvensen $62,5/2=31,25$ Hz och detta antogs räcka för att kunna fånga höga frekvenser som krock borde skapa (se figur 7). Samma sak gjordes med data som spelades in med krock från olika håll (se figur 8).

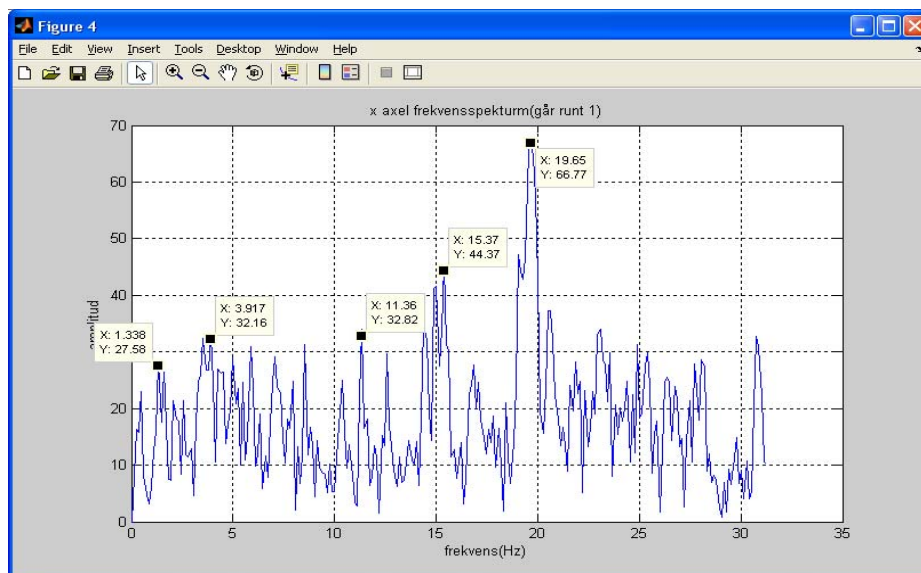


Figure 7 Frekvensspektrum (går runt utan krock)

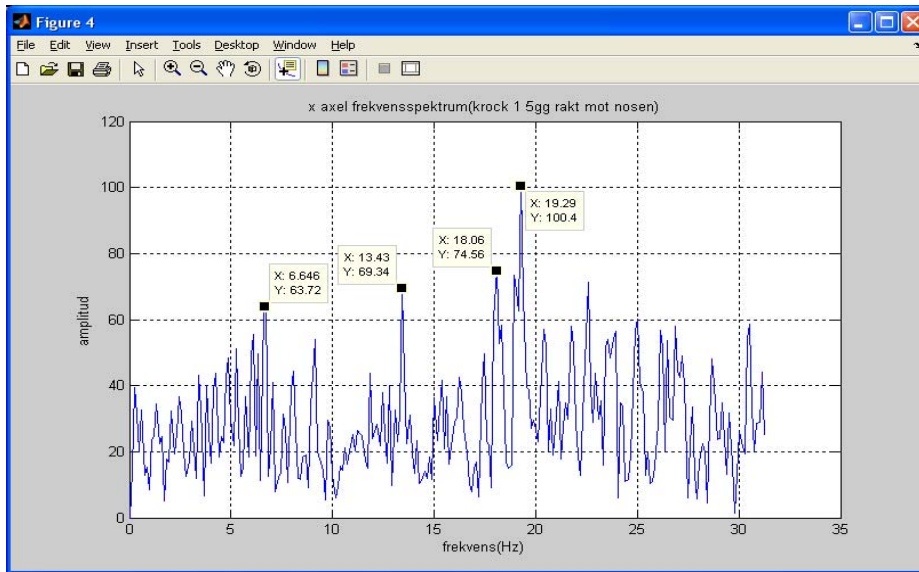


Figure 8 *Frekvensspektrum (går runt med 5 krocker)*

Samtidigt gjordes analys av utslag som accelerometer gav vid krock. Detta visade att signalens längd vid krock varade i snitt 7 samplar (se figur 9) som i sin tur ger $7 \times 16 \text{ ms} = 112 \text{ ms}$ ($f=8,92 \text{ Hz}$).



Figure 9 *Signalens längd vid krock*

Detta visade sig stämma rätt bra på de andra tillfällen när gräsklipparen krockade mot alla möjliga håll. Tanken är att jämföra detta med vad som händer med signalen när gräsklipparen går omkring utan att krocka. Det som gjorde skillnad i allra flesta fall är att accelerationen vid krock ökade kraftigt (snarare sagt minskade men eftersom i beräkningarna används det absoluta värdet så kan detta betraktas som ökning) jämfört med det som händer när gräsklipparen bara går utan att krocka (se figur 10). Störningar och lutning däremot kan påverka så att det blir svårt att skilja krock från en vanlig kortvarig puls. Tanken är att summera accelerationsvärde under de här sju samplarna eller att ta medelvärde för de här sju samplarna och jämföra detta med sju samplar när gräsklipparen bara går omkring utan krock. Eftersom det utvecklas rätt höga accelerationer vid krock jämfört med när den bara går så borde det gå att hitta ett värde som när det överskrids så kunde detta påvisa en krock. Frekvensspektrum visar att det finns mycket störningar som kommer från höga frekvenser speciellt ovanpå 10 Hz. För att kunna kringgå detta borde signalen filtreras. I Matlab konstruerades med hjälp av kommando **butter** några lågpas filter av femte grad med olika brytfrekvenser.

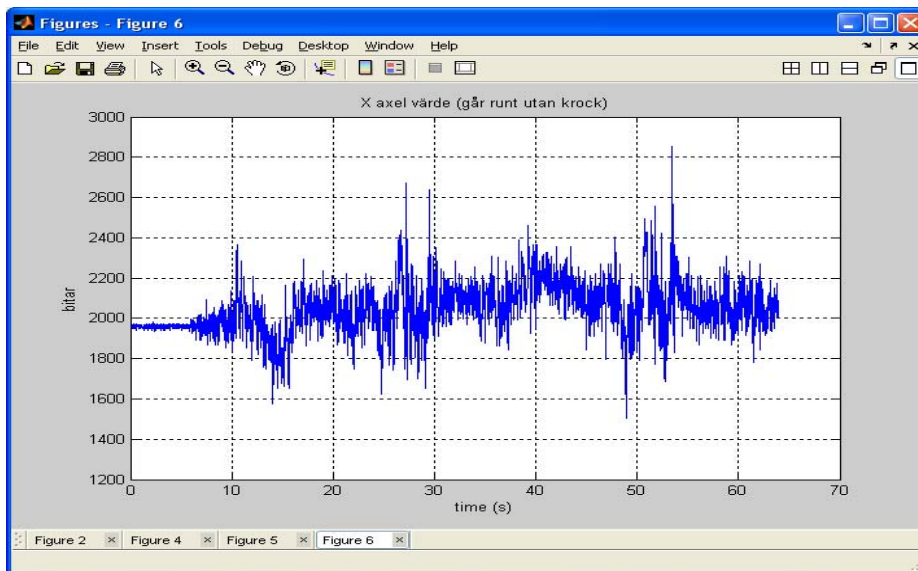


Figure 10 X axel värde (går runt utan krock) utan LPF

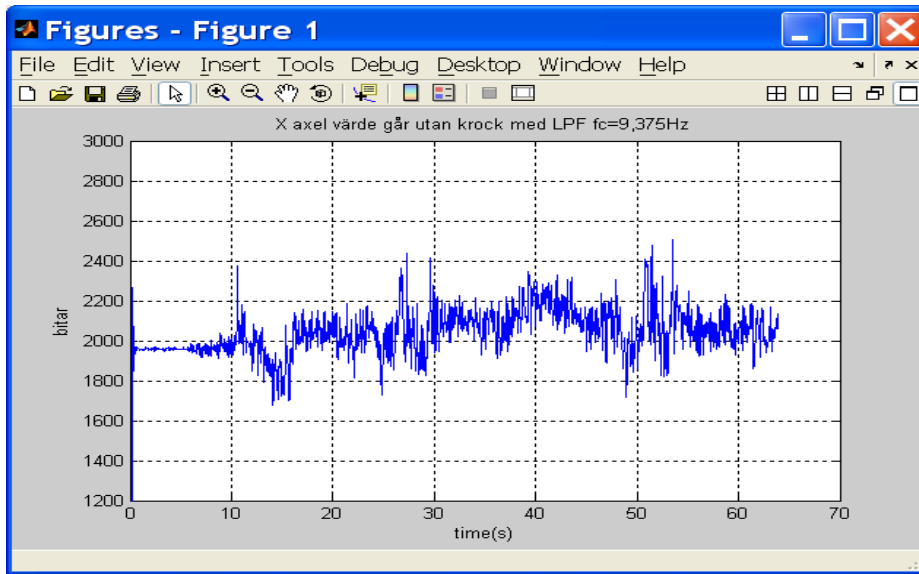


Figure 11 X axel värde (går runt utan krock) med LPF $f_c=9,375$ Hz

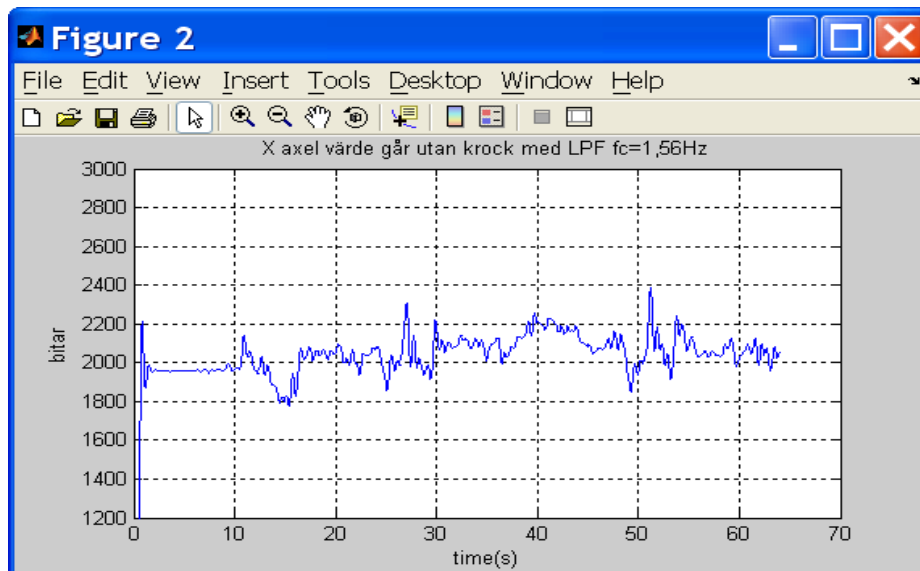


Figure 12 X axel värde (går runt utan krock) med LPF $f_c=1,56$ Hz

Som det syns på bilderna 10 till 12 så skulle en brytfrekvens på $f_c=1,56$ Hz ge ganska bra filtrering av brus och vibrationer som kommer från gräsklipparens gång. En sådan typ av filtrering skulle kunna användas för att kunna avläsa lutning (tilt) medan för att detektera krock så borde lite högre frekvenser vara med. Ett lågpasfilter av typen Butterworth av grad fem med brytfrekvens $9,375$ Hz gav bra resultat när det gäller att läsa av krock (se figur 13). Krocken sågs bättre på den filtrerade signalen som flyttades sedan till Excel. Där beräknades medel av sju samplar och jämfördes med värde som sju samplar skulle ge vid gräsklipparens gång utan krockar. Det skulle kunna finnas ett gränsvärde som skulle kunna ge tydligt tecken på att krock har uppstått.

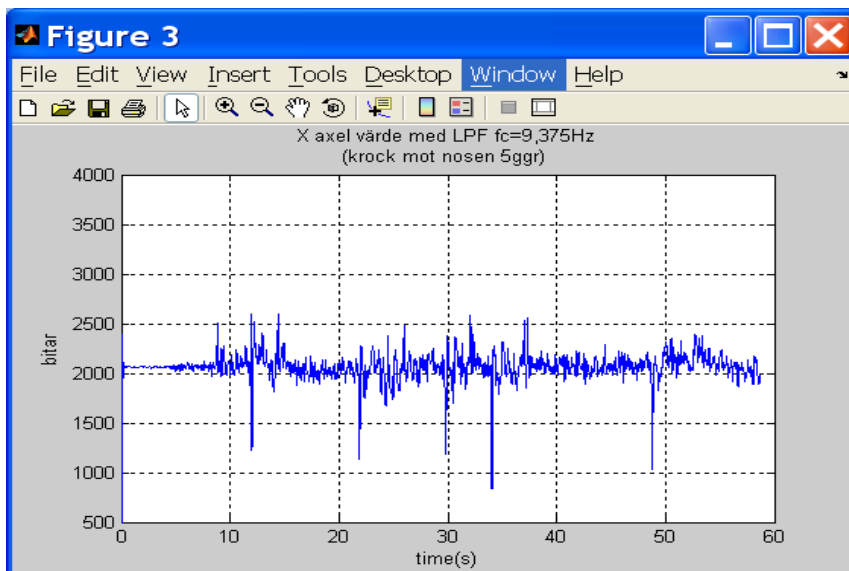


Figure 13 X axel värde med LPF $f_c=9,375$ Hz (krock mot nosen 5ggr)

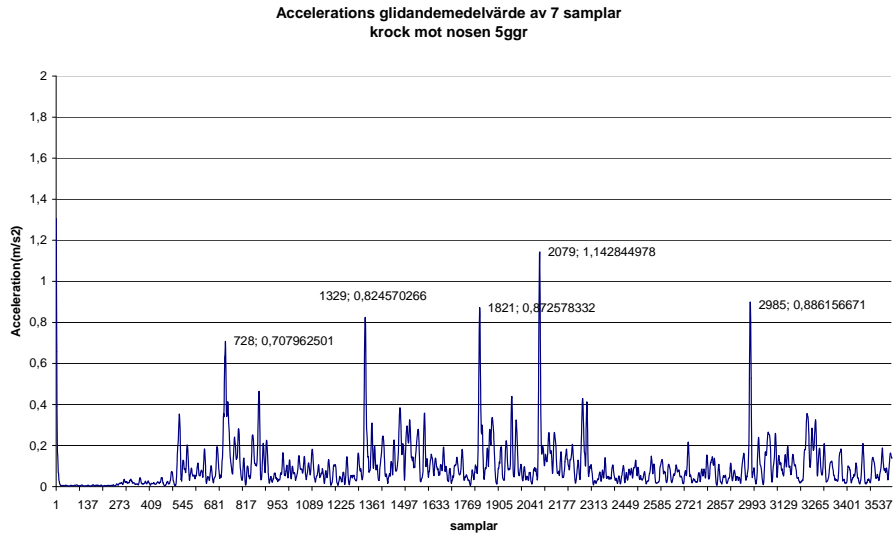


Figure 14 Acceleration medel av 7 samplar (krock mot nosen 5ggr)

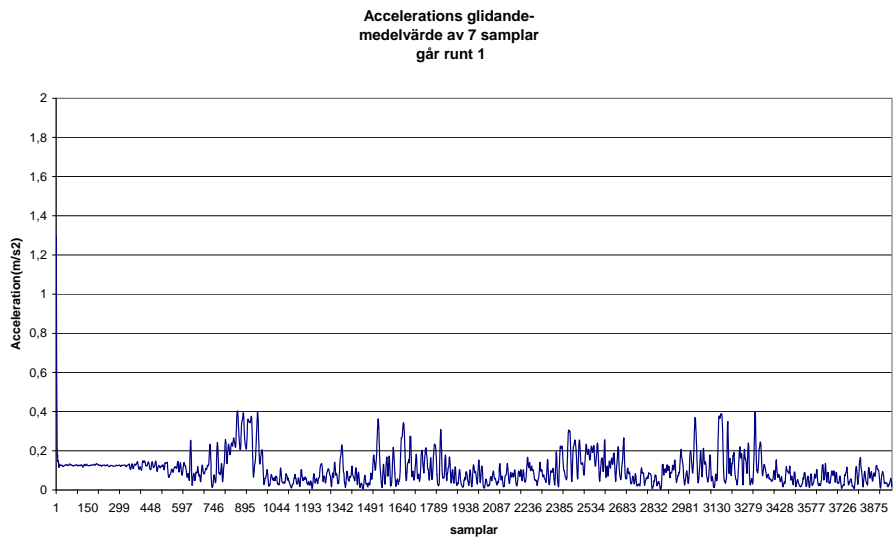


Figure 15 Acceleration medel av 7 samplar (går runt)

Det kunde tydligt ses (se figur 14 och 15) att när gräsklipparen krockade så var medel av accelerationens sju samplar mycket högre än när gräsklipparen gick utan att krocka. Efter att samma test gjordes på ett antal olika tillfälle visades att i de flesta fall när gräsklipparen går på plan mark var medel av sju samplar under $0,4 \text{ m/s}^2$ medan krock låg över $0,6 \text{ m/s}^2$. Gränsvärdena för medel av sju samplar mellan krock och vanlig gång var inte alltid så tydliga och det kunde uppstå vissa avvikelser men i de flesta fall kunde konstateras en tydlig skillnad mellan krock och vanlig gång. Problemet uppstår när gräsklipparen går i lutad terräng. Utgången kan då hamna på ett högre värde än själva pulsen som skapas under krock eller kan den bli mindre. Då kan medel eller summa av sju samplar visa större värde än krockpulsen. En lämplig lösning skulle vara ett högpasfilter eller ännu bättre ett bandpassfilter. Med lite analys visades att ett bandpassfilter av femte graden med frekvenserna $1,875\text{Hz} < f < 6,25\text{Hz}$ skulle passa till uppgiften. Den kunde filtrera bort både brus och DC komponenten som ökade när gräsklipparen gick i lutad terräng.

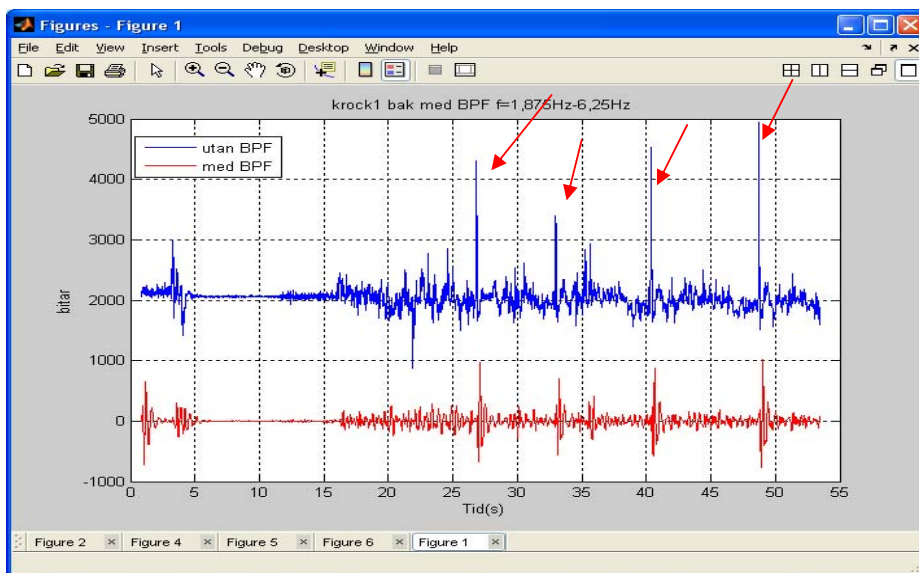


Figure 16 X axel värde (krock bak) med BPF $1,875\text{Hz} < f < 6,25\text{Hz}$

Nu när DC komponenten togs bort gjordes analys av krockpulserna. De röda pilarna i Figur 16 visar krockpulserna. Längden på krockpulserna ändrades nu efter filtrering och kunde även bli lite längre eller kortare. Efter analysen visades att längden håller sig ändå i snitt på 0,40 s som motsvarar $0,40\text{ms}/16\text{ms}=25$ samplar (se figur 17). Eftersom 25 samplar är 0,4 sekunder så måste frågan ställas om det är möjligt att två krockar kan komma under 0,4 sekunder. Teoretisk sätt är det möjligt men om gräsklipparen redan har krockat så behöver den lite tid för att rulla i gång och om den ändå lyckas krocka under den tiden så skulle accelerationen bli så låg att den skulle synas knappt på kurvan. Analysen av den filterade signalen som överfördes från Matlab till Excel visade också att summering av 29 samplar gav bättre resultat på grund av att krockpulserna varierade i längden. Det är viktigt att det inte missas någon del av krockpulsen. Summa av 29 samplar ökade marginellt tiden till 0,46 sekunder så detta skulle inte ändra mycket.

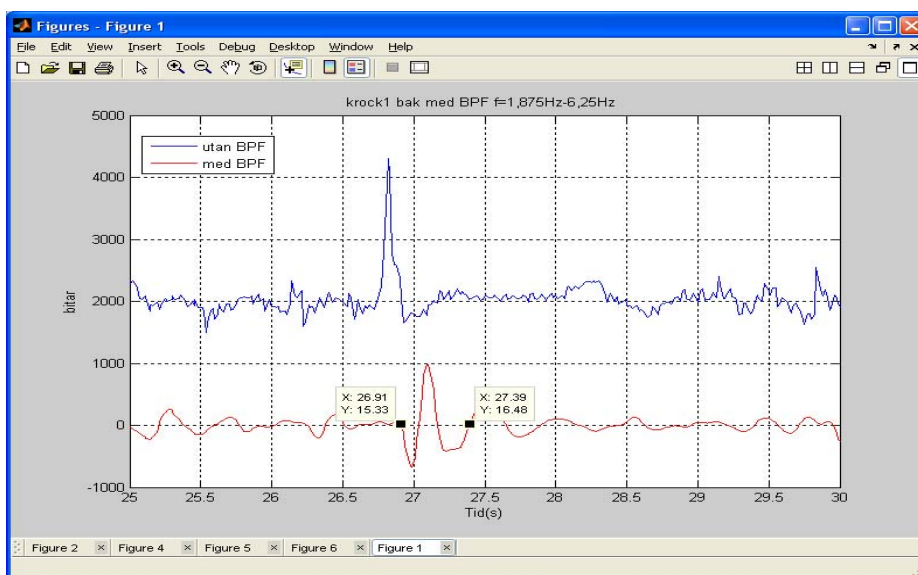


Figure 17 Längden på en krockpuls efter filtrering med BPF

Summering av 29 samplar vid olika tillfälle visade att när gräsklipparen går runt utan krockar så hamnade summan i värsta fall på 5,8 (accelerationssumma) men för övrigt ligger den mellan 0 till 4 (se figur 18 och 19). När det gäller krockar så visades att de ligger som lägst på 6,5 och i de flesta fall ovan 8,0 (se figur 20 och 21).

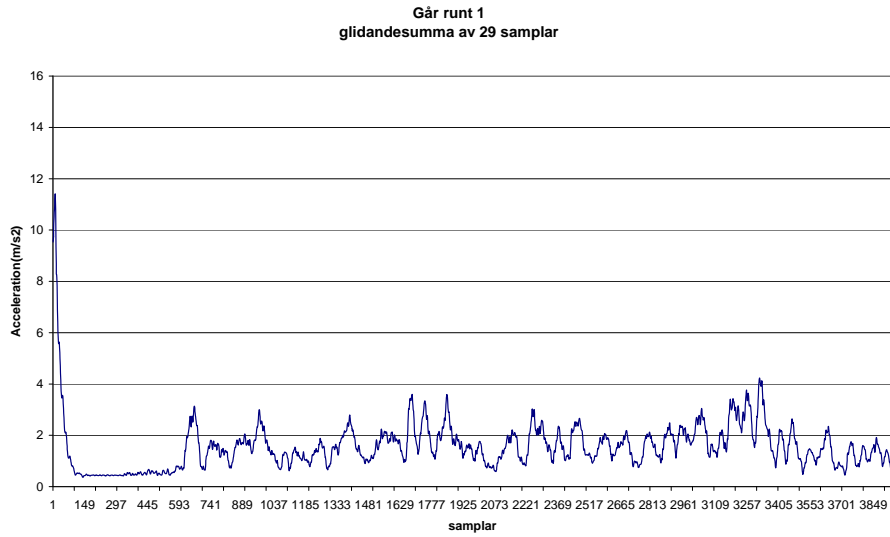


Figure 18 Summa av 29 samplar (går runt1 utan krock)

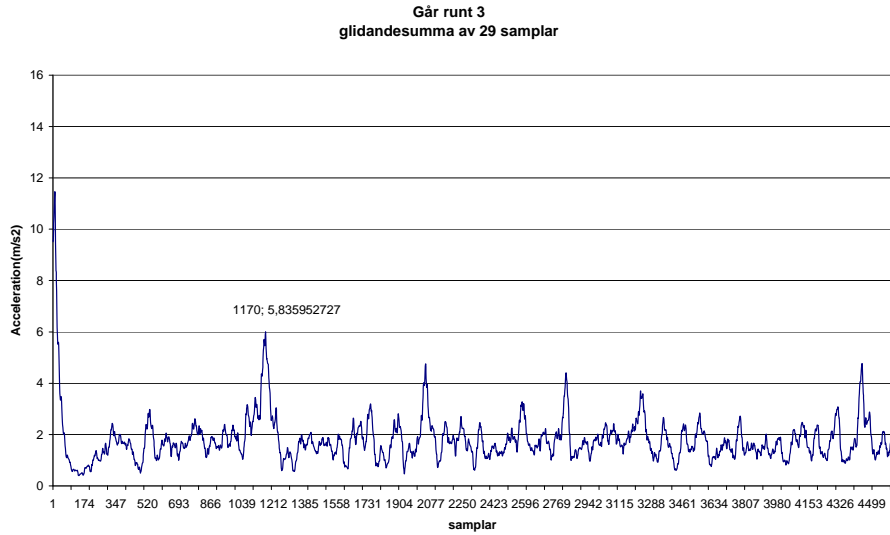


Figure 19 Summa av 29 samplar (går runt3 utan krock)

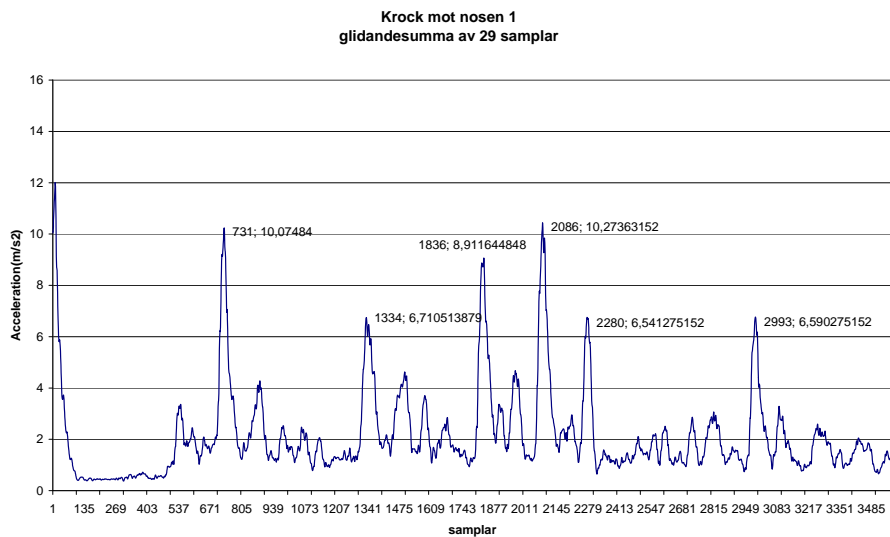


Figure 20 Summa av 29 samplar (krock1)

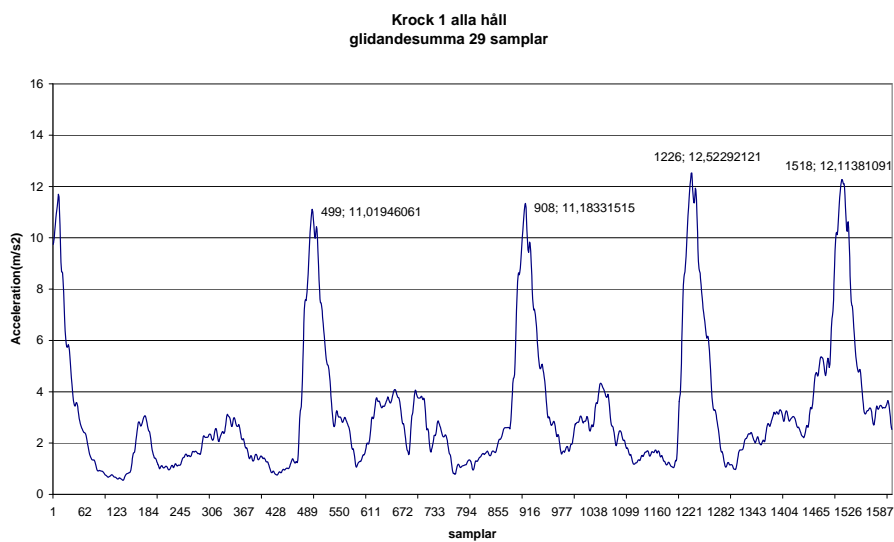


Figure 21 Summa av 29 samplar (krock2)

Bandpass filter som användes hade egenskaper som i figur 22. Den är skapad i Matlab och där måste tas hänsyn att detta är gjort på det teoretiska planet och allt detta borde testas i praktiken.

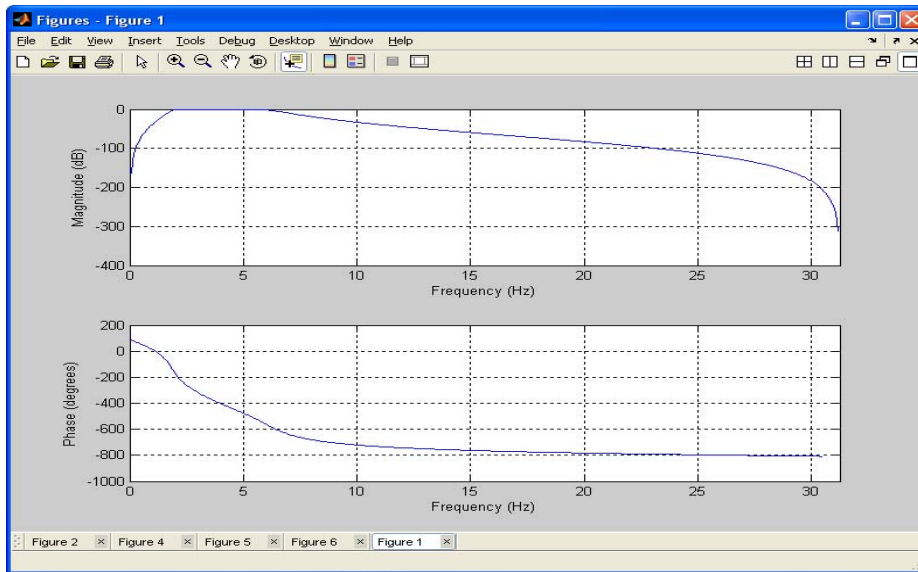


Figure 22 BPF $1,875\text{Hz} < f < 6,25\text{Hz}$

Matriser $\mathbf{B}(z)$ och $\mathbf{A}(z)$ som genererades av Matlab när bandpass filter skapades kan användas för implementering av lösningen i en DSP processor. De föreställer koefficienter för filterpolynom i det diskreta planet [6] med en överföringsfunktion $\mathbf{H}(z)$ och \mathbf{n} som grad av filter.

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b(1) + b(2)z^{-1} + \dots + b(n+1)z^{-n}}{1 + a(2)z^{-1} + \dots + a(n+1)z^{-n}}$$

BPF fick följande värde på koefficienterna.

$$B = [0.0003 \ 0 \ -0.0014 \ 0 \ 0.0027 \ 0 \ -0.0027 \ 0 \ 0.0014 \ 0 \ 0.0003]$$

$$A = [1 \ -8.0685 \ 29.7534 \ -66.0415 \ 97.7183 \ -100.7182 \ 73.2367 \ -37.1008 \ 12.5335 \ -2.5503 \ 0.2375]$$

LPF fick följande värde på koefficienterna.

$$B = [0.0069 \ 0.0347 \ 0.0693 \ 0.0693 \ 0.0347 \ 0.0069]$$

$$A = [1 \ -1.9759 \ 2.0135 \ -1.1026 \ 0.3276 \ -0.0407]$$

4.2 Larm

Frågeställning om hur någon skulle kunna stjäla gräsklipparen radades upp:

- Ta i handtaget på gräsklipparen och lyfta upp den
- Ta i nosen på gräsklipparen och lyfta upp den
- Ta i sidorna på gräsklipparen och lyfta upp den
- Lyfta upp den horisontellt mot marken
- Köra upp den på en vagn eller liknande utan att lyfta upp den eller stoppa dess gång

De första tre alternativ är lätt att lösa med tanke på att accelerometern ger utslag på vinkelförändringar. Gräsklipparen körs på lutningar som inte borde överstiga 30 grader och när någon skulle försöka lyfta upp den så som i de tre första fall så skulle detta ge mycket mer än 30 grader och samtidigt skulle detta vara länge än vanliga spikar som kan uppkomma från störningar. Figur 5 visar hur utgångarna på x, y och z förändras beroende på orientation av accelerometern. Lyfts gräsklipparen i nosen så skulle det ge utslag på 2V och upp till 2,31V under en längre tid. Eller om den skulle lyftas från sidan så skulle det ge utslag på Yut osv.

För att kunna larma om någon skulle försöka stjäla gräsklipparen i det fjärde fallet analyserades idé om att försöka beräkna avstånd i z led jämfört med marken. En annan lösning skulle det kunna bli att summera accelerationen så som det gjordes vid krockdetektering. Den här teorin kom fram från test att lyfta upp gräsklipparen så snabbt som möjligt. Det snabbaste som det kunde åstadkommas blev 0,8 sekunder (se figur 23). Så tanken att summera 60 samplar som motsvarar 0,96 sekunder gav bra resultat med tanke på att lyft skedde snabbt. Utslag som fås från z axeln visar en kraftig acceleration under den perioden.

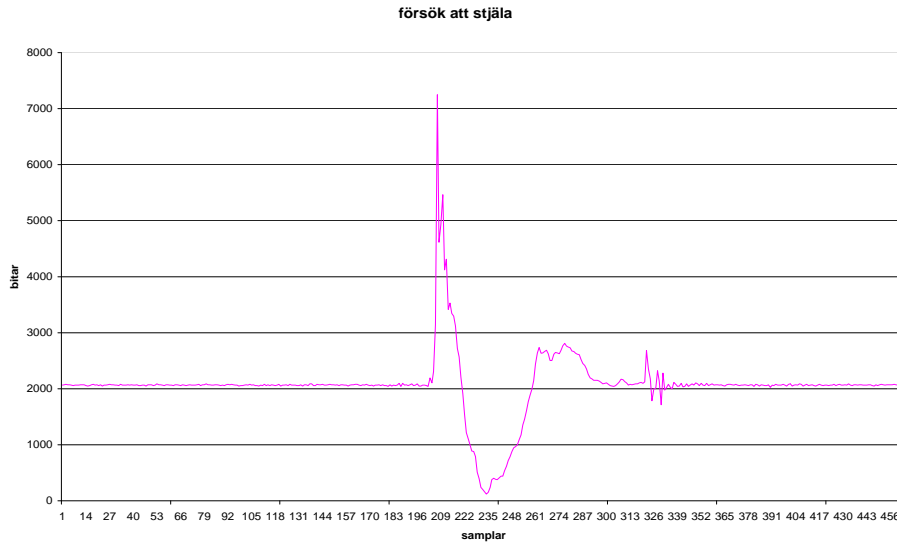


Figure 23 Z axel värde vid lyft horisontellt mot marken

Problemet uppstår när den som försöker stjåla lyfter upp gräsklipparen mycket sakta och plant mot marken (se figur 24). Då gick det inte att skilja lyften från vanlig gång (se figur 25).

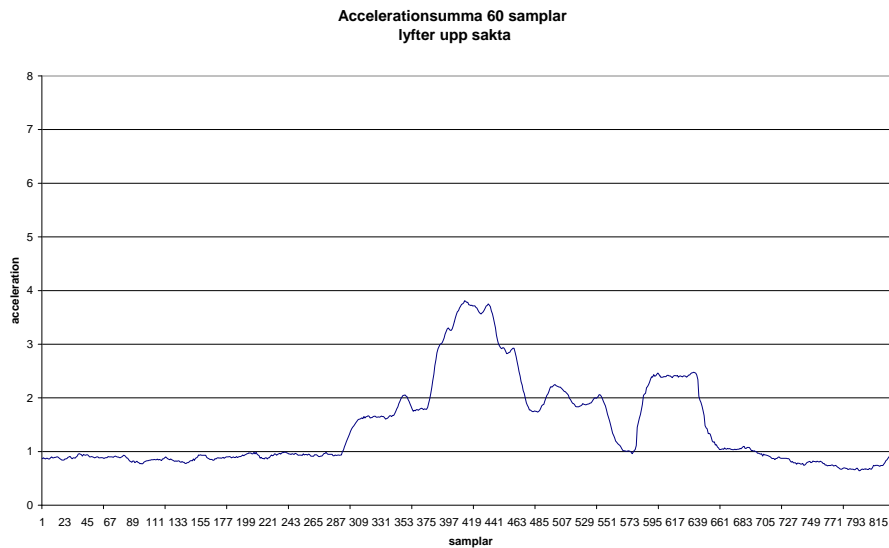


Figure 24 Z axel värde vid långsam lyft (summa 60 samplar)

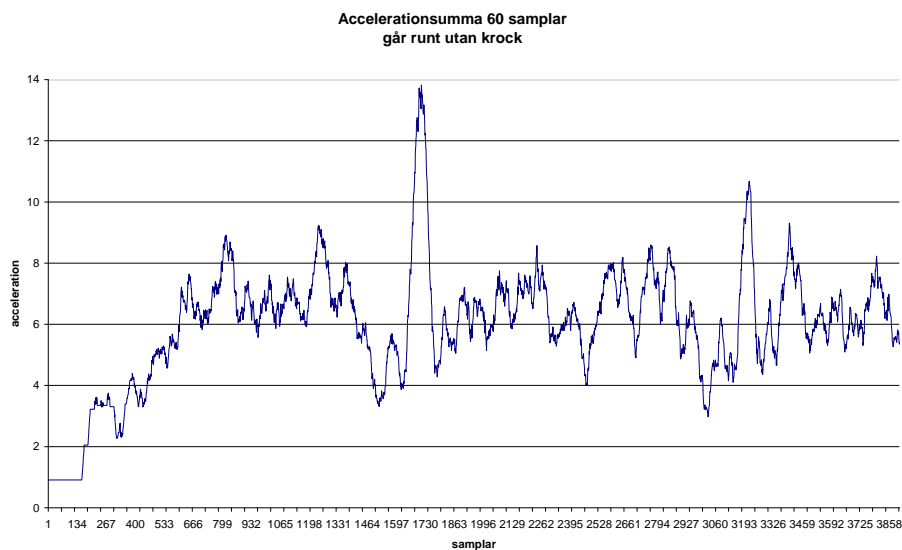


Figure 25 Z axel värde vid vanlig gång (summa 60 samplar)

En annan sak som borde tas i beräkning är att vid lutning ändrar z axel sina värden. Problemet skulle kunna lösas med högpasfilter.

Den första idén om att beräkna avstånd från marken visades vara mycket svårt. Problemet skapades med bruset som är väldigt svår att undvika och kompensera fullständigt. Om man gör en dubbelintegration av accelerationen så fås avstånd. Men om Z-ut ger en avvikelse från noll läge och även om den visar bara lite fel så kommer detta efter en viss tid att ge stora fel i avstånds beräkningar.

Nya hastigheten beräknades utöver den gamla och accelerationen för varje sampel med antagande att accelerationen är konstant eftersom detta sker under så kort tidsintervall.

$$v_2 = (a_2 \cdot 16ms) + v_1$$

Hastigheten integrerades sedan för att få avstånd från marken vid den tidpunkten. Accelerationen som togs med i beräkningar var inte som tidigare med absolut värde.

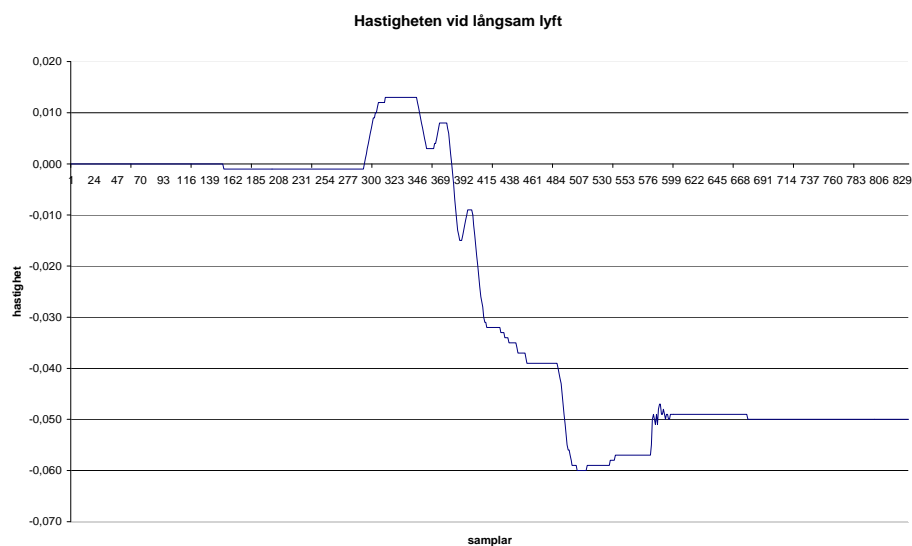


Figure 26 *Hastighetskurvan vid långsam lyft*

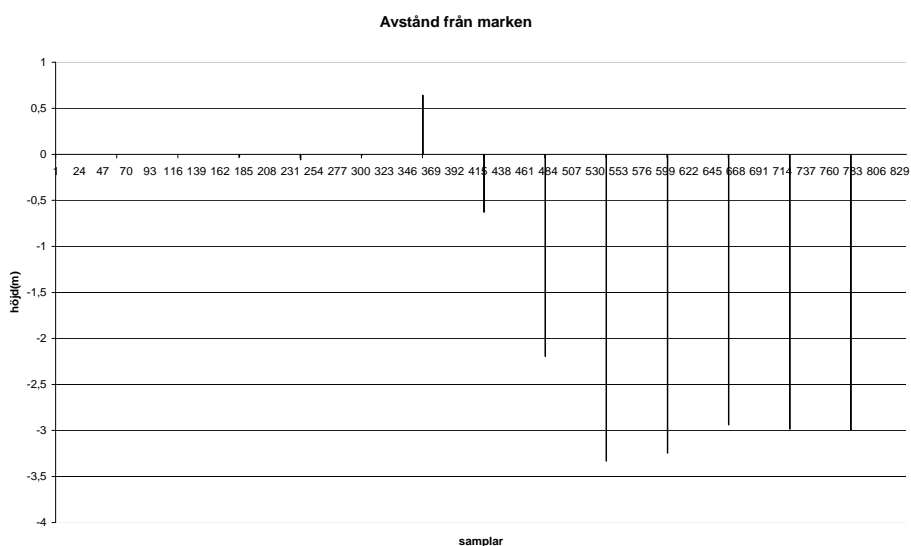


Figure 27 *Avstånd från marken vid långsam lyft*

Figur 26 och 27 visar försök där det gjordes lite filtreringar i Excel. Alla värden på z axel som var mellan 2078 och 2018 sattes på 2050 bitar och på det viset filterades bort brus när gräsklipparen stod stilla. Testet gjordes bara när gräsklipparen stod stilla på marken. Detta visade att det var svårt att lita på avståndet även om gräsklipparen inte var i gång så försök med att göra samma sak med gräsklipparen i gång gjordes inte.

Det sista fallet var den svåraste att lösa. Om någon kör fram en vagn och låter gräsklipparen köra upp på den så finns inget riktig skydd som accelerometern skulle kunna detektera. Detta skulle kännas som en vanlig körning med liten uppförsbacke. Detta förutsätter att tjuven måste känna till hur larmet är uppbyggt och det är inte många som är insatta i detta ämne. Så risken är faktiskt minimal med tanke på att tjuven inte kan smyga sig fram med en vagn så lätt utan att bli upptäckt.

4.3 Detektering av slirning

För att kunna detektera om hjulen börjar slira vid vått underlag gjordes några tester hur y axel reagerar på svängningar. Resultatet blev mycket svårt att tyda och använda i detta sammanhang. Tanken är att försöka detektera svängningar som uppstår när hjulet snurrar med olika hastigheter. Eftersom gräsklipparen svänger på det viset att ena hjulen snurrar snabbare än det andra så idén var att se på vilken sätt Y-ut på accelerometern reagerar jämfört med hastighetsskillnad mellan två hjul. Om till exempel det högra hjulet snurrar med hastighet på 30 cm/s och den andra på 10 cm/s så skulle skillnad på detta ge en $\Delta V=20\text{cm/s}$. Eftersom det högra hjulet snurrar snabbare så skulle gräsklipparen börja svänga åt vänster. Svängningen skulle kunna detekteras av accelerometern och på det viset skulle man kunna jämföra vilket utslag accelerometern ger vid olika hastighetsskillnader.

Resultatet visade att det var svårt att skilja svängningar från störningar och annan påverkan på y axel. Kanske skulle resultatet bli bättre om accelerometern satt lite längre fram i stället för mellan hjulen som den gör i dagens läge.

En möjlig lösning skulle i stället vara att använda ett gyro. Gyrot är mer känsligt för svängningar och det skulle räcka med ett axligt gyro. Ett gyro reagerar på vinkelhastighet och ger på utgången en spänning som är proportionell mot vinkelhastigheten. Integration av vinkelhastigheten ger vinkel. Så detta skulle kunna användas på samma sätt som den ovan beskrivna idén. Ett gyro utslag skulle kunna jämföras med hastighetsskillnad och på det viset indikeras om allt är normalt med gräsklipparen. Skulle ena hjulet börja slira så skulle hastighetsskillnad inte motsvara svängningen som gyrot visar och på det viset skulle det kunna indikeras att hjulet börja slira. Detta skulle kunna vidare skickas som en signal till en regulator som skulle minska hjulens hastighet eller göra någon lämplig åtgärd. För att kunna detektera om båda hjul börjar slira samtidigt så skulle det kanske kompletteras med en accelerometer som mäter om gräsklipparen förflyttar sig.

4.4 Marknadsundersökning

Möjliga alternativ för att ersätta accelerometer med någon annan typ av sensor finns det gott om. Som de mest aktuella är MEMS gyro, iMEMS gyro, iMEMS accelerometrar, elektroniska kompasser och kombinationer av dessa som kallas IMU (Inertial movement unit). MEMS gyro är ett bra alternativ som kan vara ett komplement till accelerometer. Användning nämns i lösningen för hjulslirning. Det som undersöktes är de MEMS gyro som finns på Analoge Device's hemsida [7]. Nackdelen med alla ovan nämnda sensorer är priset. En enkel MEMS accelerometer kostar inte mer än 5\$ medan alla andra sensorer kostar från 20\$ upp till 300\$. IMU som hittades på Analog Device's hemsida heter ADIS16354 [7] och den kostade runt 300\$. Den innehåller ett treaxligt gyroskop, en treaxlig accelerometer och en rad andra funktioner som det går att läsa om på deras hemsida [7]. Alternativet till denna IMU är en annan som har högre precision men ungefär samma pris är ADIS 16355. IMU används för att kunna navigera i 3D miljö så detta skulle kunna ses som en framtida satsning.

Elektroniska kompasser är både dyra och opålitliga på grund av magnetiska störningar. Det krävs bra avskärmning för att kunna använda dem. De som är bra och har inbyggda kompenseringar för störningar kostar väldigt mycket [8].

5 Slutsats och diskussion

Efter en undersökning av marknaden så var det snabbt klart att de andra alternativen till accelerometern var ganska dyra. Så det mesta av tiden lades på en bra lösning för krockdetektering, larm och slirningsdetektering med den befintliga accelerometern. Begränsningar gjordes också när det gäller den praktiska biten på grund av att Husqvarna redan hade en utvecklad programvara som kunde avläsa accelerometerns beteende. Med det som utgångspunkt gjordes analysen ganska teoretiskt men det nämndes redan i samtal med Husqvarna som en lösning. Den första lösningen (krockdetektering) som presenterades i resultat ovan skulle med lite modifikation kunna implementeras i processor utan större svårigheter. Lösningen ger inte hundra procentig krockdetektering på grund av att krockpulserna kan variera i längd och detta kan medföra att vissa krockar kan missas. Detta beror på gräsklipparens hastighet. Om gräsklipparen krockar och sedan hinner inte få upp tillräcklig fart innan krocken sker igen så kan det utvecklas väldigt små accelerationer som i sin tur kommer att bli svårt att skilja från vanlig gång. Detta är samma som att ha små tidsintervaller mellan krockar. 29 samplar summeras för att indikera krock och det ger möjlighet att upptäcka krock varje halv sekund. I det andra fallet med LPF blir resultatet bättre om gräsklipparen går på plan mark och att bara ta medel av sju samplar kortar tiden väsentligt. Det behövs bara 0,11 s för att reagera på krock och den här lösningen är bättre men problemet är DC komponenten som måste subtraheras från medelvärdet av sju samplar för att undvika fel vid lutningar. Ett annat problem som kan uppstå är störningar som kan ge höga spikar som ibland kan misstolkas som krock. Men detta borde inte ge så mycket bekymmer på grund av att gräsklipparen vid detekterad krock stannar och försöker hitta en annan väg för att kunna fortsätta klippa gräs obehindrat.

Lösningen för larm har däremot mer svagheter och borde analyseras mer eller även kompletteras med andra saker som till exempel detektering att gräsklipparen har lämnat område innanför slingan (slingan = tråd som placeras för att begränsa gräsklipparens arbetsområde) [1]. Resultatet visar att om en okunnig tjuv ger sig på gräsklipparen så går det att använda en del av lösningen. Det som borde analyseras mer är hur z axeln reagerar på lutning och vilka filter som skulle kunna användas för att göra signalen mer brusfri. Det som verkar bli svårt att åstadkomma är dubbelintegrering för att kunna mäta avstånd från marken. Den här delen känns väldigt svår på grund av bruset och andra störningar som kan påverka nolläge.

Detektering av att hjulen börjar slira presenteras mer som en idé än en lösning. Nackdelen med den här lösningen är priset på gyrosensorer och att det kanske skulle behövas en komplettering till lösningen om båda hjul börjar snurra samtidigt. Här föreslås en mer omfattande undersökning som också kräver mer analys för att hitta hur gyrosensor beter sig gentemot hastighetsändringen. Att göra en matematisk modell kan vara mer tidskrävande än att testa detta med ett gyro på gräsklipparen. På Analog Device's hemsida finns det även att tillgå vissa matematiska modeller för sensorer som kan användas i Matlab för en analys.

Det som är viktigt att påpeka i den här rapporten är att det inte togs hänsyn till temperaturpåverkan på accelerometer, att det inte togs hänsyn till offsetreglering eller kalibrerings faktor. Tyngdpunkten ligger på att undersöka hur en teoretisk lösning kan hittas för ställda uppgifter. För att lösa alla uppgifter krävs mer tid och experimenterande. Möjligheterna på marknaden ändras mycket snabbt och det kräver en ständig analys av nya produkter. Arbetet skulle kunna vidare utvecklas med att utforska mer MEMS gyro och IMU enheter samt att implementera krockdetektering i en DSP.

6 Referenser

- [1] Husqvarna AB (2008) <http://utomhus.husqvarna.se/node1024.aspx>
(Acc.2008-06-01)
- [2] National Instruments (2008) <http://zone.ni.com/devzone/cda/ph/p/id/12>
(Acc.2008-05-29)
- [3] W.Bolton (2003) 3rd edition Mechatronics- Electronic Control Systems in
Mechanical and Electrical Engineering
ISBN-13: 978-013-121633-4
- [4] Omega Engineering (2008)
<http://www.omega.com/prodinfo/accelerometers.html> (Acc.2008-05-29)
- [5] Steven W.Smith (1999) The scientist and Engineer's Guide to Digital Signal
Processing ISBN:0-9660176-4-1
- [6] Mathworks (2008) <http://www.mathworks.com/> (Acc.2008-05-31)
- [7] Analog Devices (2008) <http://www.analog.com/en/index.html>
(Acc.2008-06-06)
- [8] Honeywell SSEC (2008)
<http://www.ssec.honeywell.com/magnetic/products.html>
(Acc.2008-05-31)

7 Sökord

A

accelerationen · 7
accelerometer · 7
Accelerometer · 2, 14
accuracy · 10
ADIS 16355 · 32
ADIS16354 · 32
analog · 9
Automower · 5

B

bandpassfilter · 22
brus · 21
brytfrekvens · 21
butter · 16

D

DC · 22, 33
dielektrikum · 9
digital · 9
Discrete Fourier Transform · 11
distans · 10
DSP · 26
dynamic range · 9

E

elektronisk kompass · 5
Elektroniska kompasser · 32
Excel · 6

F

Fast Fourier Transformer · 11
fft · 16
filter · 16
filterpolynom · 26
frekvensspektrum · 16
Frekvensspektrum · 19
freqz · 16

G

Gyro · 31

H

Hastigheten · 7
Husvarna AB · 5

I

IMU · 32

K

Kapacitiva · 7
krock · 10
krockdetektering · 2, 17

L

lågpassfilter · 21
larm · 2
Larm · 27
LPF · 27, 33
lutning · 10

M

Matlab · 6
Medelvärde · 15
MEMS (Microelectromechanical systems) · 7

N

Newtons andra lag · 7
Newtons rörelselagar · 7
noise · 9
non-linearity · 10
Nyquist teorem · 17

P

Piezoelektriska · 7
Potentiometriska · 7

R

resonance frequency · 9

S

sensitivity · 9
sliming · 31

T

tilt · 10