

HOVEDPROSJEKT:

**Kalibrering for
akselerasjonssensorer**

FORFATTER(E):

Kim Espen Nyhus
Erling Bjerke

Dato: 19.mai 2005

Sammendrag av hovedprosjekt

Tittel:	<u>Kalibreringssystem for akselerasjonssensorer</u>	Nr. : 5
		Dato : 19.05.05
Deltaker(e):	<u>Kim Espen Nyhus</u> <u>Erling Bjerke</u>	
Veileder(e):	<u>Halgeir Leiknes</u>	
Oppdragsgiver:	<u>Forsvarets Forsknings Institutt, FFI</u>	
Kontaktperson:	<u>Atle Skaugen</u>	
Stikkord (4 stk)	<u>Akselrasjonssensorer, kalibrering, Labview, shaker</u>	
Antall sider:	Antall bilag:	Tilgjengelighet (åpen/konfidensiell):
<p>Kort beskrivelse av hovedprosjektet:</p> <p>Vi har laget et kalibreringssystem for akselerasjonssensorer for FFI. Grunnlaget for oppgaven var at FFI bruker en liten formue hvert år til å kalibrere sine akselerasjonssensorer, for eksempel hos PCB piezotronics. Akselerasjonssensorene brukes i forbindelse med feltmålinger på fly/båter/kjøretøyer og på det interne vibrasjonslaboratoriet på Kjeller. Kalibreringssystemet fungerer på den måten at vi sender et kjent signal til shakeren med to akselerasjonssensorer. Den ene akselerasjonssensoren er kjent, mens den andre er ukjent. Den kjente sensorer styrer shakeren slik at vi kjenner akselerasjonen på denne og ut fra dette kan vi kalibrere den ukjente sensoren. All programmering av kalibreringssystemet har foregått i Labview og dette programmet måtte vi lære oss fra grunnen av.</p> <p>Videre så har vi satt oss inn i ukjent utstyr, sensorteknologi og diverse kalibreringsteknikker. I starten av prosjektet fikk vi en del utstyr som vi måtte ta en vurdering av og gjøre et valg. Under prosjektet har vi lagt vekt på å få en så nøyaktig kalibrering som mulig.</p>		

Forord

Kalibreringssystem for akselerasjonssensorer har blitt utført av to tredjeårs studenter ved elektrolinjen på Høgskolen i Gjøvik. Vi ønsket sterkt dette prosjektet på grunn av FFI og deres opplegg rundt prosjektene deres. Før valget av dette prosjektet pratet vi med tidligere studenter og lærere om FFI, og deres tilbakemeldinger var meget gode. Gruppen ønsket også en utfordring med å lære seg ting fra grunn av og noe av dette har vi en følelse av når vi valgte denne oppgaven. Videre ga denne oppgaven viktig erfaring i Labview programmering, sette seg inn i ukjent utstyr, sensorteologi, og kalibreringsmetoder.

Vi ønsker å rette en takk til kontaktpersonen vår på FFI, Atle Skaugen, for sitt engasjement. Han har alltid vært hyggelig og hjelpsom, videre har han kommet med gode forslag om kalibrering og hvordan vi skal løse prosjektoppgaven.

En stor takk rettes også til Arne Wold, for sin tålmodighet og hjelpevilje. Wold har hjulpet oss veldig mye, ettersom han hadde erfaring fra kalibrering. Videre skylder vi Håkon Solum en takk ved at han har kommet med gode forslag og gitt oss andre synsvinkler på oppgaven.

Videre rettes en takk til Hydro Automotive på Raufoss, ved Torbjørn Pedersen. Vi fikk låne en referanseshaker fra han og denne kom til god hjelp

En annen vi skylder en takk er vår veileder igjennom prosjektet Halgeir Leiknes. Han har vært en god veileder og gikk oss tips og tilbakemeldinger på det arbeidet vi har gjort.

I tillegg en generell takk til de vi har glemt!

Gjøvik, 19.mai 2005

Kim Espen Nyhus

Erling Bjerke

Innholdsfortegnelse

Forord	5
1.0 Innledning.....	4
1.1 Problemområde	4
1.2 Definisjon av oppgaven	4
1.3 Kravspesifikasjoner.....	4
1.4 Målgruppen for rapporten.....	5
1.5 Formål med prosjektet.....	5
1.6 Rammer og begrensinger	5
1.7 Gruppens arbeidsformer.....	5
1.8 Egen bakgrunn og kompetanse	5
1.9 Teknologi.....	5
1.10 Øvrige roller	6
1.11 Organisering av oppgaven.....	6
2.0 Utstyr.....	7
2.1 Hva trenger vi?	7
2.2 Vurdering og valg av DAQ kort.....	8
2.2.1 Beregninger til DAQ kort.....	8
2.2.2 Nåværende kort, NI6071E	12
2.2.3 Vurdering av andre kort fra National Instrument	13
2.2.5 Konklusjon, valg av DAQ kort	16
2.3 BNC 2090.....	17
2.4 Forsterkere	18
2.4.1 Rockford Fosgate Punch 120a ^{II}	19
2.4.2 Konklusjon, forsterkere.....	19
2.5 Shaker.....	20
2.5.1 Hva trenger vi?.....	20
2.5.2 Nåværende shaker TYPE 4809	20
2.5.3 Referanseshaker Modell 394C06	22
2.5.4 Vurdering av andre shakere fra Brüel & Kjær	23
2.5.5 Konklusjon, shakere.....	26
2.6 Piezoelektriske Sensorer.....	27
2.6.1 Generelt om piezoelektriske sensorer	27
2.6.1.1 Hva er g krefter?.....	27
2.6.2 Akselerasjonssensorer	28
2.6.3 Følesystemet til akselerasjonsmetret	30
2.6.4 Montering av akselerasjonssensorene	31
2.7 Annet utstyr bruk under prosjektet	34
2.7.1 Digitalt multimeter, Fluke 45.....	34
2.8 Oppsummering av valg av utstyr.....	35
3 Labviewprogrammering	36
3.1 Labview intro del	36
3.1.1 Programmering i labview:.....	36
3.1.2 God labviewkoding	36
3.2 Oppsett av DAQ kort og BNC blokk i labview.....	38
3.2.1 Oppsett av DAQ kort i labview	38
3.2.2 BNC blokk, BNC-2090 i Labview, samt manuell konfigurering.....	40
3.2.3 Enkel sperring av for høyt signal ut til forsterker.....	41



3.2.4 Hvor høy samplingsfrekvens behøver vi?	42
3.3 Program spesifikk del.....	43
3.3.1 Tilleggsprogrammeringspakker.....	43
3.3.2 Sound and vibration toolset	45
3.4 Programmeringsdel i Labview	49
3.4.1 Bruk av averaged rms.vi	49
3.4.2 Hvilket filter bør vi velge til vårt formål?.....	51
3.4.3 Bruk av manipulering på arrayen	53
3.5 Tilleggsoppgave	56
3.5.1 Rapportgenerering.....	56
3.6 Grunnlag for målemetode	58
3.6.1 Tidligere forsøk og hvorfor vi gikk bort fra dette	58
3.7 Referanse program.....	60
3.7.1 Programmene.....	61
3.7.2 Testresultater fra referanseprogrammene	62
3.7.3 Referanserapport av resterende sensorer	64
3.8 PCB sitt oppsett.....	65
4 Kalibreringsrapporter.....	67
4.1 Kortslutning inngang til utgang.....	67
4.2 Kalibreringsrapport for akselerasjonssensorer REF 9.77, AUT10.08.....	68
4.3 Kalibreringsrapport for akselerasjonssensorer REF 9.77, AUT10.08.....	69
4.4 Kalibreringsrapport for akselerasjonssensorer 10.08ref, 9.86aut	70
4.5 Konklusjon av testresultater	71
5 Konklusjon.....	73
5.1 Konklusjon, valg av DAQ kort	73
5.2 Konklusjon, forsterkere og BNC blokk.....	73
5.3 Konklusjon, shakere	73
5.4 Konklusjon av testresultater.....	73
5.5 Gruppens erfaringer med prosjektet.....	74
6.0 Litteraturliste	75
7.0 Vedlegg	76



1.0 Innledning

1.1 Problemområde

Forsvarets Forsknings Institutt har hovedkontor på Kjeller i Akershus. FFI er et tverrfaglig institutt som representerer fagene matematikk, fysikk, informasjonsteknologi, kjemi, biologi, medisin, psykologi, statsvitenskap, historie og økonomi. Instituttet er i aktivt samarbeid med ledende institusjoner i inn- og utland.

FFI miljølaboratorium disponerer en rekke avanserte akselerasjonssensorer som brukes både i forbindelse med feltmålinger på fly/båter/kjøretøyer og på det interne vibrasjonslaboratoriet på Kjeller. Å kalibrere sensorene hos f.eks PCB koster en liten formue årlig, og de ønsker derfor å lage sitt eget kalibreringssystem. Dette skal vi gjennomføres ved å lage et program i Labview som styrer en vibrasjonsmaskin og leser verdien fra to akselerasjonssensorer.

1.2 Definisjon av oppgaven

Oppdraget vårt har vært å lage et kalibreringssystem for akselerasjonssensorene til FFI. Dette har blitt gjort ved hjelp av to sensorer som påtrykkes et kjent signal fra en shaker. Den ene sensoren har en kjent referanseverdi og med hjelp av denne referansen blir shakeren styrt slik at den gir riktig akselerasjon ut til kalibreringssensorene. Når shakeren har stilt seg inn til riktig akselerasjon ut, kan vi lese av verdien til den ukjente sensoren og dermed få kalibrert den ukjente sensoren. Målet var å få til en så nøyaktig kalibrering som mulig og helst lik over hele frekvensområdet. Dette ble gjort ved et godt måleoppsett i Labview.

Videre så gikk oppgaven ut på å sette oss inn i sensorteknologi og lære oss hvordan piezoelektriske sensorer virker. En annen stor del av oppgaven var å finne riktig type måleutstyr og styresystem. Hovedoppgaven her var å finne ut om utstyret vi hadde var bra nok for bruk til kalibrering, samt komme med forslag til annet utstyr.

All programmering foregikk i Labview og programmet utfører følgende oppgaver.

- Logger data fra sensorene
- Styrer shakeren
- Fullføre kalibreringen
- Rapportgenerering

Rapportgenerering var en ekstra oppgave om vi fikk tid til.

1.3 Kravspesifikasjoner

Frekvensområdet shakeren skulle operere i var 10Hz til 2kHz og vi skulle som nevnt ha en så nøyaktig kalibrering som mulig over hele frekvensområdet. Kalibreringssystemet skal lages for innebruk, dvs. et temperaturområde på $20^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$ og normal luftfuktighet. All programmering skulle forgå i Labview og evt. innkjøp av DAQ kort skulle skje fra National Instrument. Vi valgte å endre noen spesifikasjoner for å gjøre programmet mer robust og nøyaktig. Tingene vi forandret var at vi kjørte målinger på 10g i stedet for 1g og dette gjorde at vi ikke kunne måle ved 10 Hz på grunn av for stort utsving på shakeren. Men resultatet ble at vi fikk mye bedre målinger på grunn av at signal støy forholdet ble mye bedre.

1.4 Målgruppen for rapporten

Man kan si at det er tre hovedmottagere for denne rapporten. Disse tre er, veilederen for hovedprosjektgruppen, ekstern sensor for hovedprosjektet og selvsagt oppdragsgiver, FFI. Andre mottagere kan være studenter ved HIG som skal gjøre eget hovedprosjekt og personer som på vegne av FFI kanskje skal bygge videre på vårt resultat.

Hensiktene med denne rapporten er å gi en grundig beskrivelse av hvordan vi jobbet oss gjennom dette prosjektet og leseren av denne rapporten skal få innsikt i hvordan vi kom frem til et resultat. Veileder og sensor skal bruke denne rapporten til bedømming av hovedprosjekt karakter, og det er dermed viktig for oss å få frem hva vi har gjort, hvilke avgjørelser og vurderinger som har blitt tatt underveis, og sluttresultat vi kom fram til. Oppdragsgiver skal bruke denne rapporten som en dokumentasjon og beskrivelse for oppgaven vi har gjort for dem.

1.5 Formål med prosjektet

Formålet med prosjektet er at FFI skal kunne kalibrere sine akselerasjonssensorer hos seg selv, istedenfor å sende de inn til en utenforstående leverandør. Dette vil være en økonomisk besparelse for FFI, og man vil også ha en tidsbesparelse med at dette kan gjøres hos FFI

1.6 Rammer og begrensinger

Kalibreringen skulle være så nøyaktig som overhode mulig med de midlene vi har til rådighet.

1.7 Gruppens arbeidsformer

Arbeidsformen på gruppen har vært at vi har delt oss i to, der den ene har mest å gjøre med programmeringen i Labview og den andre har hatt mest ansvar når det gjelder vurdering og valg av utstyr. Vi har samarbeidet når det har oppstått problemer med våre arbeidsoppgaver og prøvd å løse problemene sammen. Under forprosjektet ble det utarbeidet Gantskjema, denne planen har vi brukt underveis for å styre fremgangen i prosjektet.

Utstyret vi har brukt har vært våre egne private PC'er, en laptop og en stasjonær. Under prosjektet har vi hatt møter sammen med veileder cirka annenhver uke. Gjennomprosjektet har vi skrevet møtereferater, statusrapporter og logg.

Underveis har vi hatt samtaler med oppdragsgiver, Atle Skaugen, samt korrespondanse per e-post. I tillegg har vi vært to ganger på FFI på Kjeller. Den første gangen så fikk vi en innføring i prosjektet og fikk med oss utstyr. Den andre gangen var vi der for å hente forsterkeren.

1.8 Egen bakgrunn og kompetanse

Gruppens medlemmer består av studenter fra elektrolinjen på Høgskolen i Gjøvik, med fordypning Mikrodata. Gruppen har derfor kompetanse innen elektronikkonstruksjon og programmering.

1.9 Teknologi

Under prosjektet har vi benyttet Labview, man kan beskrive Labview som et grafisk programmeringsverktøy. Ingen av gruppemedlemme hadde erfaring med denne typen programmering og vi måtte sette oss inn i dette programmet med egen læring. Til å lære oss programmet brukte vi boken som var med når vi kjøpte Labview. Ingen av gruppemedlemmene hadde noen forkunnskap om piezoelektriske sensorer og resten av utstyret som skulle brukes. Så dette var noe vi også måtte sette oss inn i.

1.10 Øvrige roller

Veileder:

Vår veileder gjennom prosjektet har vært Halgeir Leiknes. Leiknes er seksjonsleder ved elektroavdelingen og underviser i følgende fag

- Mikroprosessor-teknikk II
- VHDL-Programmerbare kretser
- Programmerbare styringer

Hans rolle har vært å gi oss tips, råd og veiledning i gjennom hele prosjektet

Oppdragsgiver:

Vår oppdragsgiver er FFI, og vår kontaktperson har vært Atle Skaugen. Skaugen har vært med på utforme krav og kommet med eksempler på hvordan programmet kan se ut. Videre har Skaugen kommet med gode tips og forslag på løsninger.

Andre personer som hjalp oss:

Arne Wold har spilt en veldig stor rolle for oss, ettersom Wold hadde tidligere erfaring i kalibrering av akselerasjonssensorer. Denne erfaringen har vært til stor hjelp for oss ved at han har kommet med forslag til utførelse. Videre har Wold vært en stor inspirasjonskilde for begge gruppemedlemmene under dette prosjektet.

Vi fikk også låne en håndholdt shaker fra Hydro Automotive på Raufoss, kontaktperson var Torbjørn Pedersen. Denne shakeren var til god hjelp på slutten av prosjektet og denne hjalp oss til å ta en rekke konklusjoner .

1.11 Organisering av oppgaven

Organisering av rapporten:

Kapittel 1 Innledning

Gir en kort innføring i prosjektet og prosjektarbeidet. Samt kravspesifikasjoner som følges i prosjektet.

Kapittel 2 Utstyr

Dette kapitlet tar for seg alt utstyr som brukes under prosjektet og en innføring i sensorteologi. Videre kommer det forslag til innkjøp av evt. nytt utstyr.

Kapittel 3 Labview programmering

I dette kapitlet kommer det en innføring i Labviewprogrammering, oppsett av diverse hardware, forskjellige kalibreringsmetoder, referanseprogram

Kapittel 4 Kalibreringsrapporter

Diverse rapport som har blitt generert med hovedprogram

Kapittel 5 Konklusjon

Kapittel 6 Litteraturliste

Kapittel 7 Vedlegg

2.0 Utstyr

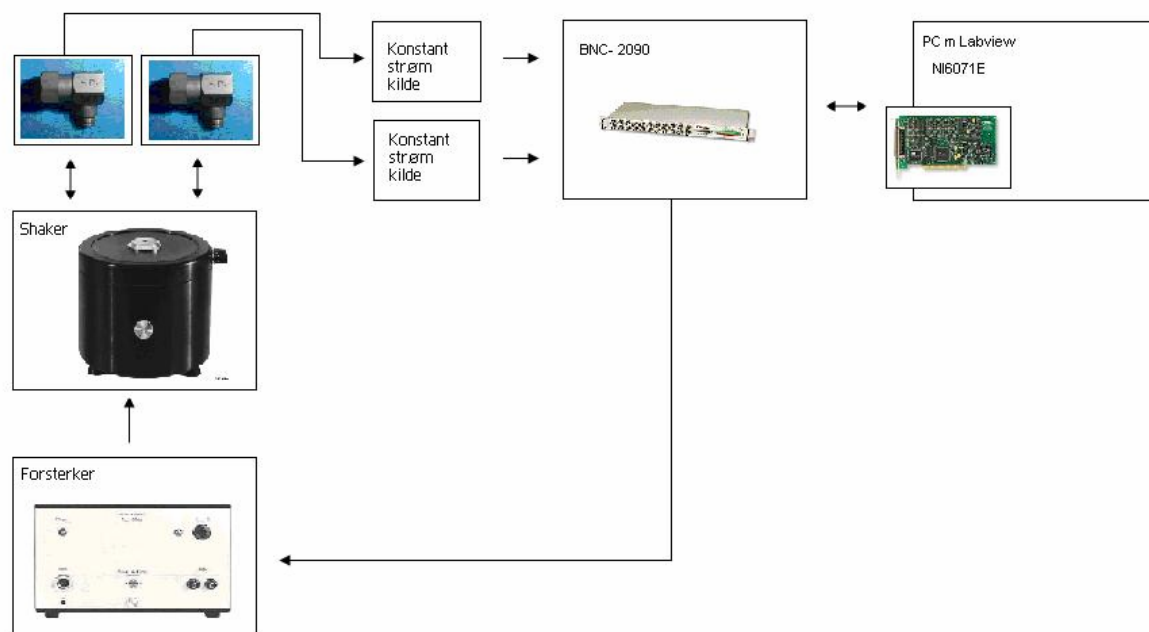
2.1 Hva trenger vi?

Utstyret som vi trenger for å kalibrere akselerasjonssensorene blir

- **Software**
 - o Labview 7.0 eller nyere

- **Hardware**
 - o DAQ kort
 - o BNC blokk
 - o Forsterker
 - o Shaker
 - o Konstant strømkilde
 - o Diverse kabler

Oppsettet av utstyret blir slik som anvist i blokkskjema under



Figur 1 Blokkskjema, prinsippskisse

2.2 Vurdering og valg av DAQ kort

2.2.1 Beregninger til DAQ kort

Vi må ha et kort som har to analoge innganger og en analog utgang. På inngangene kommer signalet som sensorene lager, mens utgangen vil ha styrefrekvensen og amplituden til shakeren. Spenningsnivået på inngangene vil ligge i området $\pm 1V$ og utgangen kan man maks ha $\pm 10V$.

Kortet skal brukes i frekvensområdet fra cirka 10Hz-2kHz, og ut fra dette kan vi bestemme samplingsfrekvensen med samplingsteoremet: $F_s = 2 * f_{max}$. Dette tilsier at vi må ha en sampelfrekvens som er større en 4kHz, f. eks 5kHz. Men dette gjelder kun hvis vi skal gjenskape sinuskurven, noe som skaper for dårlig nøyaktighet.

For å få en nøyaktig kalibrering av sensorene er det viktig at vi klarer å gjenskape sinuskurven som sensorene skaper best mulig i Labview. Oppbygningen av sinuskurven bestemmes av antall punkter pr periode og jo flere punkter jo bedre oppbygning av kurven får vi. Antall punkter sinuskurven er bygd opp bestemmes av samplingshastigheten til DAQ kortet. Vi kan anslå av vi trenger mellom 50 -100 punkter per periode ved høyeste frekvens, for å være sikker på kurven blir gjenskapt riktig i Labview. Med disse valgene kan vi bestemme samplingshastigheten som vårt kort trenger. Hvis vi velger å bruke 100 punkter per periode ved høyeste frekvens 2kHz, får vi følgende samplingsfrekvens.

$$F_s = F_{max} * \text{punkter} = 2 * 10^3 * 100 = 200 * 10^3 = 200kHz$$

Ettersom vi har to innganger må vi minst ha en kort som takler

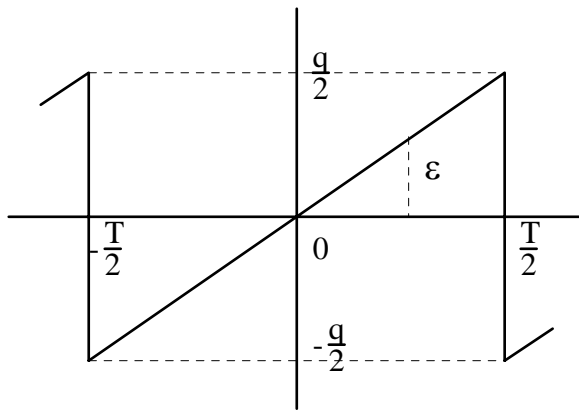
$$2 * F_s = 2 * 200kHz = 400kHz = 400kS / s$$

På utgangen skal vi styre frekvensen som skal styre shakeren, den vil ligge i samme område som inngangene. Dermed må utgangen minst klare 200kS/s.

Når det gjelder oppløsningen har vi to valg enten 12 bits eller 16 bits kort. Teoretisk har man et signal/støyforhold lik

$$\frac{S}{N} = B * 6.02 + 1.76$$

Denne formelen blir skapt ved å se litt nærmere på "kvantiseringsfeilen", feilen kan vi anta er sagtann formet som vist i figuren under


Figur 2 Kvantifiseringsfeil

Som vi ser fra figuren er trinnstørrelsen q og tidsperioden er T , mens hele spenningsområdet er definert ved U . Vi bruker B bit som ordlengde til kvantifiseringen, noe som gir 2^B antall mulige verdier. Dermed kan vi finne spenningsområdet ved $U = 2^B \cdot q$

Videre finner vi amplituden ved å dele på 2 og vi finner effektivverdien ved å dele på $\sqrt{2}$. Dermed blir signaleffektverdien lik

$$S = \left(\frac{2^B \cdot q}{2\sqrt{2}} \right)^2$$

For å finne effektiv støy må vi som nevnt anta at "feilen" er en sagtannet, dermed kan feilen/støyen i en periode uttrykkes som $\varepsilon = \frac{q}{T} \cdot t$ der $t \in \left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2} \right]$ og feilen er i området

$$\left[-\frac{q}{2}, \frac{q}{2} \right].$$

Støyeffekten finner vi ved å kvadrere ε og integrere denne i området med hensyn på t på følgende måte.

$$\overline{e^2} = \frac{1}{T} \cdot \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \varepsilon^2 \cdot dt = \frac{1}{T} \cdot \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \left(\frac{q}{T} \right)^2 \cdot t^2 \cdot dt = \frac{q^2}{T^3} \cdot \left[\frac{t^3}{3} \right]_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} = \frac{q^2}{12}$$

Ut fra dette finner vi signal/støyforholdet

$$\frac{S}{N} = \frac{\left(\frac{2^B \cdot q}{2 \cdot \sqrt{2}} \right)^2}{\frac{q^2}{12}} = \frac{3}{2} \cdot 2^{2 \cdot B}$$

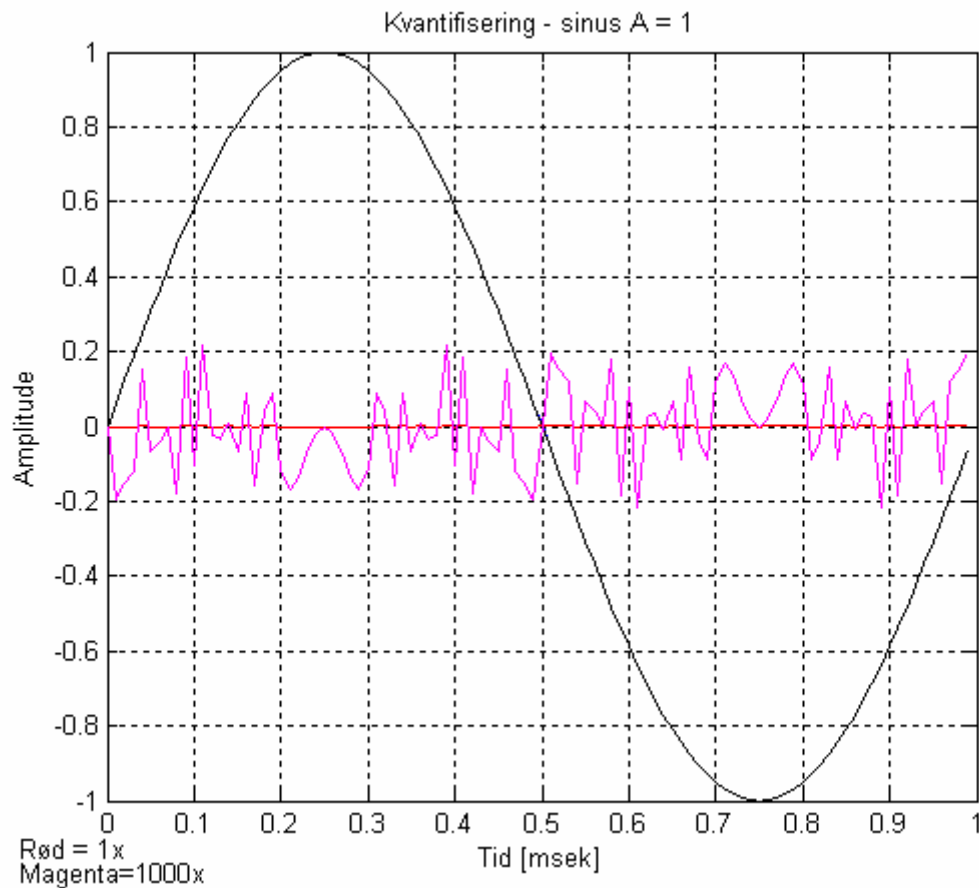
Dermed kan vi finne utgangspunktformelen ved å uttrykke forholdet i dB:

$$\frac{S}{N} = 10 \cdot \lg(1,5 \cdot 2^{2 \cdot B}) = 6,02 \cdot B + 1,76 \text{ dB}$$

Hvis vi starter med et 12 bits kort vi få en teoretisk signal/støyforhold lik.

$$\frac{S}{N} = B * 6.02 + 1.76 = 12 * 6.02 + 1.76 = 74dB$$

Vi kan finne kvantiseringsstøyen for 12 bit ved å simulere et sinussignal med amplitude lik 1 i matlab.



Figur 3 Kvantifiseringstøy ved 12 bit

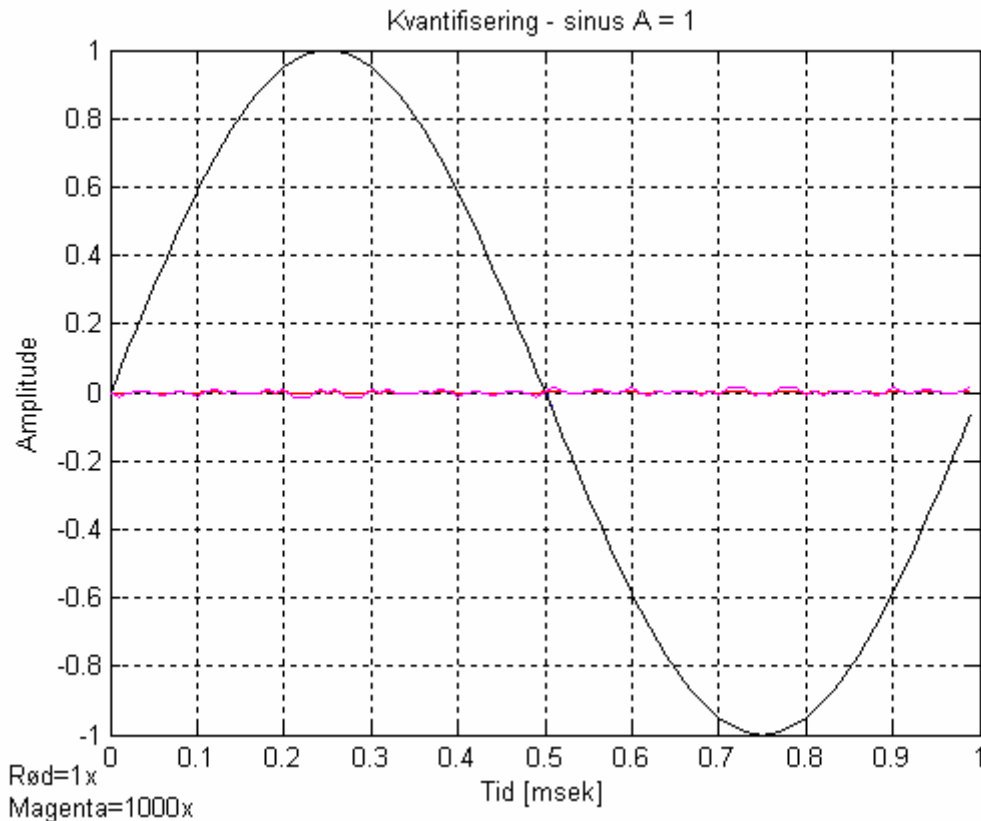
Man ser nesten ikke kvantiseringsstøyen når den ikke er forsterket opp, men når vi "blåser" den opp 1000 ganger blir den godt synlig. Ved å summere støyen ser vi mer nøyaktig hvor stor den er, dette gjøres via Matlab og vi får følgende resultat.

feil_12 =

-5.8525e-016

Dette er et utrolig lite tall og vi kan nesten anse kvantiseringsstøyen som 0.

Deretter sjekker vi kvantiseringsstøyen ved 16 bits kort og simulerer på samme måte som på 12 bits kortet.



Figur 4 Kvantifisering ved 16bit

Som man ser av figuren er støyen nesten ikke synlig selv om man forstørrer den opp 1000 ganger og at dette gir et bedre resultat enn på 12 bit kortet. Men hvis vi summerer kvantifiseringsstøyen så er ikke forskjellen så veldig stor lenger.

Summen av feilen blir

feil₁₆ =

-5.8531e-016

Den teoretiske signal/støyforholdet blir dermed

$$\frac{S}{N} = B * 6.02 + 1.76 = 16 * 6.02 + 1.76 = 98dB$$

Oppsummeringen av dette blir at vi trenger ett kort som har følgende spesifikasjoner:

Hvis vi velger 12 bits vil spenningsområdet vårt deles inn i $2^{12} = 4096$ trinn og med 16bits

$2^{16} = 65536$. Som vi ser ovenfor er signal/støy forholdet bedre med 16 bits og vi vil dermed få mindre kvantifiseringsstøy. Forskjellen virker veldig stor, men det er ikke riktig. Hvis målingene foregår over mange sinusperioder vil middelerdien av støyen bli svært liten både på 12 bits og 16 bits. Differansen mellom den målte middelerdien av støyen på 12 bit og 16 bit vil bli dermed bli minimal. Dermed vil det ikke være noe hensikt å velge ett kort med 16 bits. Vi klarer oss med 12 bits.

Krav til spesifikasjoner:

Bustype	PCI
Analoge innganger	2
Inngangs oppløsning	12 bit
Spenningsnivå inngang	$\pm 1V$
Maksimum samplingshastighet inngang	400 kS/s
Analoge utganger	1
Utgangs oppløsning	12 bit
Maksimum samplingshastighet utgang	200 kS/s
Utgangs spenningsnivå	$\pm 10V$

Tabell 1 Spesifikasjoner som trengs på DAQ kort

2.2.2 Nåværende kort, NI6071E

Det DAQ kortet vi har i dag er i E-serien, med navnet NI6071E og dette kortet har følgende spesifikasjoner.



Figur 5 NI6071E

Bustype	PCI
Analoge innganger	64 SE/32DI
Inngangs oppløsning	12 bits
Maksimum samplingshastighet inngang:	1.25MS/s
Inngangs spenningsnivå	$\pm 0.05V$ til $\pm 10V$
Analoge utganger	2
Utgangs oppløsning	12bits
Maksimum samplingshastighet utgang	1.25MS/s
Utgangs spenningsnivå	$\pm 10V$
Digitale inn/utganger	8
Teller	2, 24bit
Triggere	både analog og digital

Tabell 2 Spesifikasjoner NI6071E

Ut fra spesifikasjonene ser vi at kortet har veldig mange innganger og i utgangspunktet trenger vi ikke mer enn to analoge innganger og en analog utgang. NI6071E har også digitale inn og utganger, og tellere, som heller ikke vil bli tatt i bruk i denne prosjektoppgaven.

DAQ kortet har som nevnt ovenfor 1.25MS/s til rådighet, og dermed ligger vi innenfor med klar margin når det gjelder samplingsraten. Ved to innganger kan vi maks ha en samplingsfrekvens som er 625kHz per inngang. Ut fra beregningene ovenfor trenger vi maksimalt 400kHz på begge kanalene og NI6071E oppfyller kravene som betinges. Som nevnt skal vi bare bruke en utgangen med en samplingshastighet på cirka 200kS/s og her har vi 1MS/s til rådighet. NI6071E har 12 bits oppløsning både på inngangene og utgangen, noe som vi også ønsker ut fra beregningene. Spenningsnivået på inngangene og utgangen er ut fra beregningene bra nok. Prisen på kortet ligger på 14300NOK, men som nevnt ovenfor er dette nåværende kort som eies av FFI.

2.2.3 Vurdering av andre kort fra National Instrument

National Instrument har flere forskjellige serier med DAQ kort, per dags dato har de fire forskjellige serier som vist under

- M Series Multifunction DAQ -- the Next Generation
- E Series Full-Featured Multifunction DAQ
- S Series Simultaneous-Sampling Multifunction DAQ
- B Series Multifunction DAQ

2.2.3.1 B-Series Multifunction DAQ

Dette er lav kostnad serien til NI og disse kortene har en maks samplingshastighet lik 200kS/ og 16 bits oppløsning. Kortene fra denne serien blir litt for enkle til vårt bruk og dermed ikke aktuelle.

2.2.3.2 S-Series Simultaneous-Sampling Multifunction DAQ

Dette er en serie som tilbyr sanntidssampling og er veldig bra for transient opptak, analyse anvendelsesområder som ultralyd, lydforhold, høyenergifysikk og radar. S- serien har kort med samplingshastigheter opptil 10 MS/s og dette er raskere enn både M og E serien Dette er unødvendig bra kort for vårt bruk og prisen på kortene ligger høyere enn de nevnte seriene.

2.2.3.3 E-Series Full-Featured Multifunction DAQ

Vårt nåværende kort er fra denne serien og ut fra National Instrument sine hjemmesider er dette en serie som er nøyaktig, gir pålitelige målinger for mange forskjellige bruksområder. Alle kortene i E-serien har analog I/O, digital I/O og tellere/klokke funksjon, samt RTSI bus eller PXI trigger bus slik at flere apparater kan synkroniseres. Dette er en serie som blir mer og mer tatt over av M serien, pga M serien blant annet er raskere, har bedre ytelse og rimeligere enn E-serien. Velger bare NI6071E fra denne serien pga dette kortet er det mest aktuelle fra denne serien. Resten av kortene har lavere samplingshastighet enn 500kHz og dermed uaktuelle.

2.2.3.4 M- Series Multifunction DAQ -- the Next Generation

National Instrument ser selv at dette er kort for neste generasjon, grunnen til det er at kortene har bedre ytelse, mer nøyaktige og mer inn/ut -ganger enn det E serien har. Videre har M serien større bruksområde enn E –serien pga nyere teknologi.

M serien er delt inn i tre underserier

- lav kostnad
- høy hastighet
- høy nøyaktighet

Lav kostnad: Kortene i denne serien har for dårlig samplingshastighet i forhold til våre krav med en minimum samplingshastighet lik 400 kS/s, lav kostnad klarer bare en samplingshastighet på 250kS/s og en oppløsning på 16 bits. Og allerede her kan vi konkludere med at disse kortene er for dårlig for vårt bruk og velger å ikke gå nærmere inn på denne serien. Det er for øvrig fem kort i denne serien.

Høy hastighet: Som navnet tilsier er dette en serie med raskere kort enn lav kostnad serien, med tanke på samplingshastigheten. Alle kortene i høy hastighet serien kan ha en maks samplingshastighet lik 1,25MS/s på inngangene. Serien har 4 forskjellige kort å velge mellom og en kort oversikt er vist i tabellen under

Family	Bus	Analog Inputs	Analog Input Resolution (bits)	Analog Outputs	Outputs Resolution (bits)	Max Output Rate(MS/s)	Output Range(V)	Digital I/O	Correlated (clocked) DIO
NI6250	PCI/PXI	16	16	0	0	0	0	24	8, up to 10MHz
NI6251	PCI/PXI	16	16	2	16	2,8	+/-10V	24	8, up to 10MHz
NI6254	PCI/PXI	32	16	0	0	0	0	48	32, up to 10MHz
NI6259	PCI/PXI	32	16	4	16	2,8	+/-10V	48	32, up to 10MHz

Tabell 3 Sammenlikning av kort i M serien, høy hastighet

Ut fra tabellen ovenfor ser vi at NI6251 er det kort som passer best ut fra våre beregninger. Kortene NI6250 og NI6254 kan ikke brukes ettersom de ikke har noen utganger, mens NI6259 har flere inn/ut ganger enn NI6251, noe som ikke er nødvendig for vårt formål.

Velger å gå nærmere inn på NI6251 og trekker ut spesifikasjonene til kortet i tabellen.

Bustype	PCI
Analoge innganger	16
Inngangs oppløsning	16 bits
Maksimum samplingshastighet inngang:	1.25MS/s
Inngangs spenningsnivå	$\pm 0.1V$ til $\pm 10V$
Analoge utganger	2
Utgangs oppløsning	16bits
Maksimum samplingshastighet utgang	2.8MS/s
Utgangs spenningsnivå	$\pm 10V$
Digitale inn/utganger	24
Teller	8, 32bit
Triggere	både analog og digital

Tabell 4 Spesifikasjoner NI6251

Hvis vi sammenligner dette kortet med det kortet vi har i dag, ser vi at dette kortet har mindre innganger og bedre oppløsning i bit enn det kortet vi har i dag. Vi har samme

samlingshastigheten på inngangen, men bedre samlingshastighet på utgangen. I utgangspunktet er det ingen poeng å ha bedre samlingshastighet på utgangen da vi kun trenger 200kS/s. Videre er dette kortet et litt nyere enn nåværende kort og leveres derfor med litt annen software, noe som kan være en fordel. Men denne softwaren kan også brukes på nåværende kort, noe som allerede er gjort ved å laste den ned. Prisen på dette kortet ligger på 7100NOK og er rimeligere enn NI6071, noe som vi kan se på som en fordel. Hvis utgangspunktet hadde vært at vi ikke hadde noen kort fra før, ville nok dette kort vært veldig aktuelt å kjøpe inn.

2.3.4.4 Høy nøyaktighetskort

Dette er den siste underserien i M serien og har fire kort å velge mellom, alle kortene i denne serien har en maks samlingshastighet lik 625kS/s. Spesifikasjonene til kortene er gjengitt i tabellen under

Family	Bus	Analog Inputs	Analog Input Resolution (bits)	Analog Outputs	Outputs Resolution (bits)	Max Output Rate(MS/s)	Output Range(V)	Digital I/O	Correlated (clocked) DIO
NI6280	PCI/PXI	16	18	0	0	0	0	24	8, up to 10MHz
NI6281	PCI/PXI	16	18	2	16	2,8	Programmable per channel	24	8, up to 10MHz
NI6284	PCI/PXI	32	18	0	0	0	0	48	32, up to 10MHz
NI6289	PCI/PXI	32	18	4	16	2,8	Programmable per channel	48	32, up to 10MHz

Tabell 5 Sammenlikning av kort i M serien, høy nøyaktighet

Som vi ser ut fra tabellen kan kortene ha en oppløsning på 18 bits, og sammen med at det er mulig å programmere spenningsområdet på utgangen er denne serien veldig lik høyhastighet serien. Det kortet som var interessant i denne serien blir dermed NI6281, kortet er veldig likt NI6251. Unntaket blir oppløsningen og spenningsområdet på utgangen, men oppløsningen er unødvendig bra. NI6281 har en pris på 11800NOK og dermed dyrere en NI6251, men billigere enn nåværende kort NI6071. Dermed vil det vært mer hensiktsmessig å valgt NI6251 fremfor NI6281 ved ny innkjøp.

2.2.5 Konklusjon, valg av DAQ kort

Det kortet som vi har i dag er i utgangspunktet bra og med gode spesifikasjoner. Nåværende kort har veldig mange innganger og ettersom vi bare bruker to av dem blir det masse overflødig innganger til overs. Ut fra dette kunne vi valgt et kort som har færre innganger, men ettersom inngangene ikke har noen innvirkning på utstyret vi bruker, vil ikke dette være noe grunnlag for å bytte kort. Når det gjelder samplingsraten på kortet vi har i dag holder det i massevis, både på inngang og utgang. Dvs. vi kunne klart oss egentlig med et kort med lavere samplingshastighet, f.eks. et kort med rundt 600kS/s. Men å bytte til ett kort med dårligere spesifikasjoner enn det vi har i dag sier seg selv å være bortkastet. Vi bestemmer selv hvilken samplingshastighet vi ønsker å benytte både på utgangen og inngangene. Når det gjelder oppløsningen kunne det vært en fordel med 16 bits kort istedenfor 12 bits. Men som nevnt og bevist er det ingen stor forskjell på oppbygning av sinusen på utgangen, og ved målingene på inngangene. Det holder med et kort som har 12 bits oppløsning ved vårt bruksområde.

Ut fra disse faktorene kan vi konkludere med at det kortet vi har i dag er bra nok for vårt formål. Nåværende kort oppfyller kravene på alle punktene som er gitt og dermed vil det være ulønnsomt å investere i ett nytt kort. Men hvis utgangspunktet var at vi ikke hadde noen DAQ kort ville vi nok valgt NI6251 fra M-serien fremfor NI6071E fra E-serien.

2.3 BNC 2090



Figur 6 BNC 2090

Dette er en BNC blokk som brukes til å forenkle tilkoblingen til DAQ kortet, ettersom DAQ kortet ikke har plass til store kontakter. BNC 2090 har mulighet til rackmontering og det er mulighet å koble inn kablen til DAQ kortet på både framsiden og baksiden. På frontpanelet kan man koble inn både analogt og digitalt signal, samt trigger og timer/teller. Man kan også lage lavpass/høypassfilter på de analoge inngangene, noe som kan fjerne uønskede komponenter. Hvordan man kobler filtrene er vist i brukermanualen som finnes på følgende link <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/1177> . På de analoge inngangene kan man bestemme om man ønsker singel-ended eller differential kobling, der singel-ended er vanlig tilkobling med for eksempel koaksialkabel. I en differential kobling tar man differansen mellom to signaler.

BNC 2090 har følgende spesifikasjoner

Tilkoblinger	22 BNC tilkoblinger -16 analoge innganger (8 differential, 16 singended) - 2 analoge utganger - 2 brukerdefinerte digitale og timer signaler - 1 ekstern referanse - 1 trigger 28 fjærterminaler - 8 digitale inn/utganger - 3 digitale jordtilkoblinger - 9 programmerbare funksjon innganger - 2 brukerdefinerte digitale og timer signaler - 2 tellende(counter) utganger - 1 uttak for DC spenning (+5DC) - 1 ekstern strobe - 1 frekvens utgang
Drivspenning	+5VDC, 10mA, maks 1A (fra PC)
Dimensjoner	Bredde 48.3 cm Dybde 18.8 cm. Høyde 4.4cm
Bruksmiljø	Temperatur 0-55°C Fuktighet 10% til 90%

Tabell 6 Spesifikasjoner BNC 2090

Vi skal bruke to innganger og en utgang på BNC 2090, der inngangene kommer fra sensorene og utgangen styrer frekvensen og amplituden til shakeren. BNC 2090 kan brukes sammen med alle DAQ kortene fra E-serien, og M serien. Skal man benytte M serien må man bytte kabel mellom DAQ kort og BNC 2090. Denne blokken tilfredsstiller våre krav og har det man trenger for kalibrering av akselerasjonssensorer.

2.4 Forsterkere

For å drive shakeren trengs det en forsterker, og shaker Type 4809 krever 75VA i 2 ohm med maks strømtrekk på $5A_{RMS}$. Ut fra spesifikasjonene er anbefalt forsterker 2718, men også Type 2706 kan brukes. Begge disse forsterkerne er laget for shakerne Type 4809 og Type 4810, og forsterkerne har selvsagt de kravene shakerne krever. Type 2706 er en gammel modell og blitt erstattet av 2718, velger å gjengi spesifikasjonene av disse forsterkerne i vedlegget.

I utgangspunktet skulle vi bruke Type 2706 i prosjektet, men denne fikk vi aldri. I stedet for fikk vi tak i en forsterker fra LDS(Ling Dynamic Systems), Power oscillator – modell P0300 som skulle brukes og den har følgende spesifikasjoner:

Effekt	450VA
Utgangsspenning	75V rms, maks strøm 6.5A rms
Total forsterkning	75
Nominell inngangsspenning	1V rms \pm 0.1V for 75V rms ut
THD	<0.1% 20Hz – 10kHz
Frekvens Respons	\pm 1dB 10Hz- 20kHz
Inngangs impedans	10k nominell

Tabell 7 Forsterkerspesifikasjoner for P0300

Ut fra spesifikasjonene ser man at forsterkeren er alt for stor i forhold til det vi trenger og den er såpass stor at vi har problemer med å bruke den på 16A sikringskurs. Forsterkeren drar for mye startstrøm og sikringen ryker. Vi fant ut at det er viktig å koble alt utstyr som skal brukes til kalibreringen i samme spenningsuttak, ellers for vi jordingsstrøm som også gjør at sikringen ryker. Vi var heller ikke fornøyd med utsignalet til forsterkeren. Den ga for mye støy ut, noe som gjorde målingene våre unøyaktige. Forsterkeren har også innebygd sweep oscillator noe som ikke vi benytter oss av. Derfor bestemte vi oss for å prøve å bruke en bilforsterker fra Rockford Fosgate for å sjekke om målingene ble mer nøyaktige.

2.4.1 Rockford Fosgate Punch 120a^{II}

Dette er en bilforsterker som en av gruppe-medlemmene hadde liggende og vi bestemte oss for å prøve denne. Tanken bak dette var at den forsterkeren vi har ga for mye støy og ved å bruke en forsterker som drives av batteri, kunne vi slippe unna nettstøy og en del annen støy. Utdrag fra Punch 120 a^{II} sine spesifikasjoner

Uteffekt	2*30W _{rms} , 4Ω 1*60W _{rms} , 4Ω (brokobling) 2*60W _{rms} , 2Ω 1*120W _{rms} , 2Ω (brokobling)
THD	Ved 4Ω 0.05% Ved 2Ω 0.1%
Frekvensområde	20-20kHz

Tabell 8 Utdrag spesifikasjoner Rockford Fosgate Punch 120a2

Vi velger å brokoble forsterkeren slik at vi får mest mulig effekt ut(120W, 2Ω) Ved å bruke denne forsterkeren fikk vi det vi var ute etter, mindre støy. Noe som gjorde målingene våre bedre og mer nøyaktige enn ved å bruke P0300. Vi valgte dermed å bruke denne forsterkeren under testing av programmene våre.

2.4.2 Konklusjon, forsterkere

Man bør få tak i forsterkerne som er anbefalt fra Brüel og Kjær, Type 2718 eller Type 2706. Pga dette er forsterkere som er laget for formålet og har de spesifikasjonene som kreves. Forsterkeren fra LDS er ikke å anbefale pga. denne forsterkeren støyer for mye og at den er altfor kraftig og stor til bruken.

2.5 Shaker

2.5.1 Hva trenger vi?

Ut fra spesifikasjonene vi fant i forprosjektet og vurderinger underveis, trenger vi en shaker som har følgende spesifikasjoner.

Frekvensområde	10-2000Hz
g-kraft	>1g i hele frekvensområdet(5-2kHz) >10g (50-2kHz)
Plass til antall sensorer	2
Maksimal vekt på toppelementet	<60gram

Tabell 9 Krav til shaker

2.5.2 Nåværende shaker TYPE 4809

Dette er shakeren vi har per dags dato og shakeren er levert av Brüel & Kjær. Shakeren har for eksempel følgende bruksområder

- Kalibrering av akselerasjonsmeter
- Vibrasjonstester på små produkter
- Undervisnings demonstrasjoner

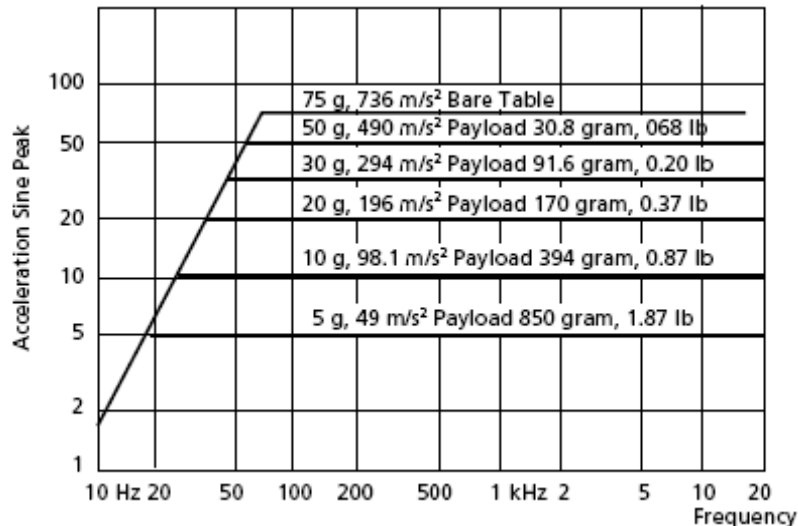
Dette er shakeren vi har per dags dato og denne vi har brukt under dette prosjektet. Men vi har ikke brukt anbefalt forsterker Type 2718, noe som har gitt litt problemer.

Shakeren har følgende spesifikasjoner

Anbefalt forsterker	Type 2718
Kraftmerkning	44.5N sine peak
Frekvens område	10Hz – 20kHz ubelastet
Aksial resonans frekvens	20kHz ubelastet
Maksimal ubelastet akselerasjon	75g(736m/s) ²
Maksimalt forskyvning på elementet	8mm peak-to-peak
Maksimal hastighet på elementet	1.65m/s
Dynamisk vekt på bevegelselement	60g
Maksimalt inngangsstrøm	5A RMS
Strøm til kraft forhold	~0.16A/N(peak - peak) (~6.4N/A(peak – peak))
Inngangsimpedans	2 Ω ca. ved 500Hz
Toppflaten i diameter	29mm
Totalvekt	8.3kg
Ytre mål	
Diameter	149mm
Høyde	143mm

Tabell 10 Spesifikasjoner Type 4809

Dette er en forholdsvis liten shaker med bra spesifikasjoner, og anbefalt driverforsterker er Brüel og Kjær sin Power Amplifier Type 2718. Denne forsterkeren leverer 75VA og er designet for nettopp denne shakeren. Shakeren er bygd opp slik at den klarer å levere maksimalt 75g, dette gjelder kun når shakeren er ubelastet. Setter man på en belastning på toppen, går karakteristikken ned på hva den klarer å levere i form av g kraft. Dette er vist i tabellen under



Figur 7 Frekvenskarakteristikk for 4809 med forskjellige belastninger

Man ser tydelig ut fra denne grafen at man må over 75Hz for at shakeren gir maksimal kraften ut, og at kraften avtar med forskjellig belastning på toppen av shakeren. Vi kan konkludere med at denne shakeren er egentlig litt for kraftig for kun kalibrering av sensorer. Grunnen til det er at hver sensor veier 3gram, i tillegg har vi festestykke på cirka 50gram. Og ut fra tabellen ser vi at shakeren da klarer mellom 30 og 40g, noen som klarer seg mer enn nok hvis man foretar kalibreringer ved 10g.

2.5.2.1 Vurdering av shakeren, og om den er lineær?

Shakeren bærer preg av at den har vært med i mange år og det virker som membran i shakeren begynner å bli ødelagt. Problemet kommer ved flere forskjellige frekvenser, både lave og høye. Det virker som at membranen har blitt myk og denne gir en ulyd ved at den blarfrer.

Ved å forta en FFT (Fast Fourier Transform) analyse der vi får ut THD (total harmonic distortion) i prosent kan vi finne ut om shakeren er ulineær eller ikke. Velger ut noen frekvenser og responsen er gjengitt i tabellen under

Frekvens	u/shaker	m/shaker
100	0.08%	0.2237%
500	0.08%	0.2865%
1000	0.08%	0.3779%
2000	0.08%	0.068%

Tabell 11 THD for shaker

Det vi kan lese ut fra denne tabellen er at shakeren ikke gir ut alt for mye forvrengning, men det er antydninger til litt spesielt ved 1000 Hz der THD stiger. Vi har en forholdsvis jevn THD med unntak ved 1000 Hz og 2000 Hz der tallene varierer en del, men den varierer ikke så

mye at vi kan si at shakeren er ulineær. Da skulle det vært større forandring i THD. THD gjengir også hvor mye forvrengning som kommer ut fra shakeren og vi kan også her konkludere med at det ikke kommer mye forvrengning fra shakeren. Hvis THD kommer over cirka 1 % så er det 1/1000 forvrengning og vi kan si at shakeren begynner å bli ulineær. Så ulyden som er der skyldes antageligvis at membran har blitt slapp.

Vi ringte også til produsenten av shakeren, Brüel & Kjær og de mente at dette var normal slitasje. Det var også mulig å levere shakeren hos dem for en grundig test og overslag på hvor mye en eventuell reparasjon koster. Men de mente at det ville være like lønnsomt å anskaffe en ny og prisen for dette var 34800kr.

2.5.3 Referanseshaker Modell 394C06

Dette er en shaker som PCB Piezotronics har produsert og dette er en håndholdt shaker som kun gir ut 1g akselerasjon enten i 1g RMS eller 1 g peak. Shakeren har en fast frekvens og kan benytte en topplast på opptil 210gram. Vi bruke denne shakeren til å teste sensorene våre og sjekke resultatene fra programmene våre. De viktigste spesifikasjonene er gjengitt i tabellen under



Figur 8 Referanseshaker

Frekvens	159.2Hz ($\pm 1\%$)
Akselerasjon	1g RMS, 9.81m/s ² RMS ($\pm 1\%$)
Spenning og strøm	10V, 2.4A (batteridrift)
Maks topplast	210 gram
Fysisk størrelse (diameter x høyde)	56mm x 200mm
Vekt	900 gram

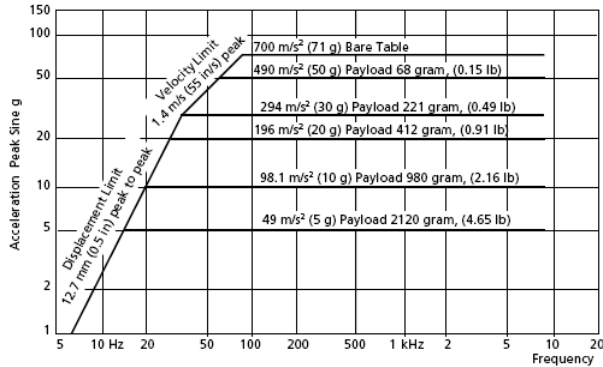
Tabell 12 Spesifikasjoner modell 394C06

Denne shakeren fikk vi låne av Hydro automotive på Raufoss og var til god hjelp for oss. Uten denne hadde vi ikke fått bekreftet/avbekreftet måleresultatene våre.

2.5.4 Vurdering av andre shakere fra Brüel & Kjær

Ettersom nåværende shaker er fra Brüel & Kjær fant vi det naturlig å se etter shaker fra samme leverandør. Det finnes to shakere som kan være aktuelle, Type 4808 og 4810.

2.5.4.1 Type 4808



Figur 9 Frekvenskarakteristikk for 4808 med forskjellige belastninger

Dette er en større type av 4809 og har dermed kraftigere spesifikasjoner enn 4809. Shakeren har følgende bruksområder

- Vibrasjon testing
- Mekaniske impedans målinger
- Testing av strukturer

Velger kun å dra fram de viktigste spesifikasjonene, ettersom denne blir i overkant av det nødvendige.

Frekvens område	5Hz – 10kHz ubelastet
Kraftmerkning	112N sine peak
Maksimalt inngangsstrøm	15A RMS
Maksimal ubelastet akselrasjon	71g(700m/s) ²
Vekt	35kg
Ytre mål Diameter Høyde	215mm 200mm

Tabell 13 Spesifikasjoner Type 4808

Denne shakeren vil ikke være aktuell for kalibrering av akselrasjonsmeter, pga sin størrelse og kraft. Ut fra frekvenskarakterstikk klarer denne shakeren hele 980gram belastning på toppflaten, men en akselrasjon på 10g. Det finnes mindre shakere som er lagt for nettopp kalibrering av akselrasjonsmeter som for eksempel Type 4810 og Type 4809

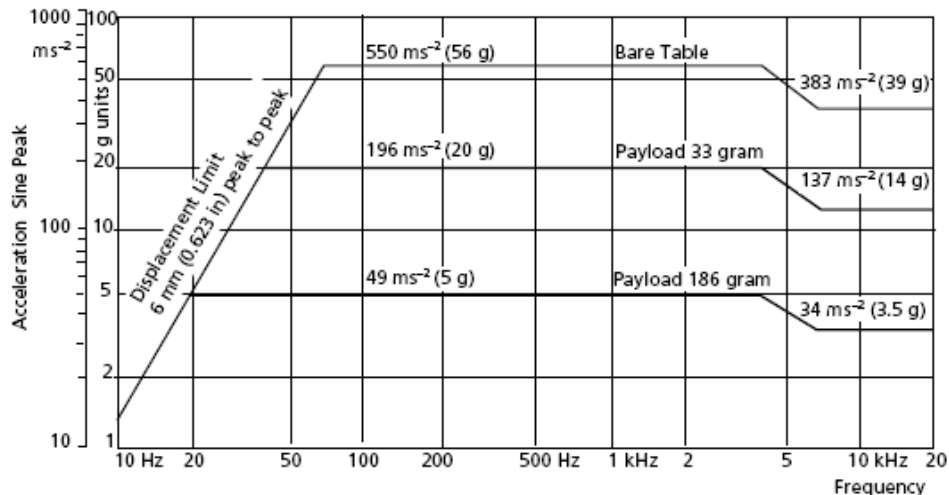
2.5.4.2 Type 4810

Denne går under betegnelsen Mini- shaker fra Brüel & Kjær og er ideell for kalibrering av akselrasjonsmeter. Denne har samme bruksområder som Type 4809 men er av mindre størrelse, dvs. både fysisk størrelse og egenskaper . Den har en maksimal utkraft på 56g og utdypende spesifikasjoner er gjengitt i tabellen under.

Anbefalt forsterker	Type 2718
Kraftmerkning	10N sine peak, 65Hz to 4kHz 7N sine peak, 65Hz to 18kHz
Frekvens område	DC – 18kHz ubelastet
Maksimal ubelastet akselrasjon	56g (500m/s) ² 65Hz til4 kHz 39g (383 m/s) ² (1m/s ² =0.102g)
Maksimalt forskyvning på elementet	6mm peak-to-peak
Dynamisk vekt på bevegelseelement	18g
Maksimalt inngangsstrøm	1.8A RMS
Inngangsimpedans	3.5 Ω ca. ved 500Hz
Toppflaten i diameter	14mm
Totalvekt	1.1kg
Ytre mål Diameter Høyde	76mm 75mm

Tabell 14 Spesifikasjoner Type 4810

Man ser ut fra spesifikasjonene at denne shakeren blir veldig liten i forhold til begge de nevnte shakerne. Og vi må se i grafen for frekvenskarakterstikk for å finne ut om denne shakeren passer for vårt formål.



Figur 10 Frekvenskarakterstikk for Type 4810 med forskjellige belastninger

Skal shakeren brukes til kalibrering ved 5g eller lavere, klarer denne dette med en toppbelastning mindre 186 gram fram til 5kHz. Vi har valgt å bruke kalibrering ved 10g og med ett festestykke på 54 gram med sensorer. Dermed må vi foreta en utregning for å sjekke om shakeren holder mål.

Ut fra tabellen kan vi sjekke om shakeren er lineær, hvis den er det kan vi lett finne ut om vi klarer å kalibrere med 10g og en belastning på 54 gram.

Finner den ved hjelp av Newtons 2. lov og gjør om denne

$$F = ma$$

$$K = mg$$

Ut fra tabellen kan vi sette opp følgende formel

$$K = 56g * M_o$$

$$K = 20g(M_o + 33)$$

$$K = 5g(M_o + 186)$$

Ser at vi kan finne en formel for M_o

$$M_o = \frac{K}{56g}$$

Dermed kan vi finne ut om shakeren er lineær

$$K_1 = 20g(M_o + 33) \Rightarrow K_1 = 20g\left(\frac{K_1}{56} + 33\right) \Rightarrow K_1 - K_1 \frac{20}{56} = 660 \Rightarrow K_1 = 1026,7$$

$$K_2 = 5g(M_o + 186) \Rightarrow K_2 = K_2 - K_2 \frac{5}{56} = 930 \Rightarrow K_2 = 1021.2$$

Disse tallene er såpass nær hverandre at vi kan konkludere med at shakeren er lineær og vi kan finne hvilken vekt man klarer ved 10g

$$1025 = 10g\left(\frac{1025}{56} + M_{10g}\right) \Rightarrow M_{10g} = 84.2 \text{ gram}$$

Ut fra denne utregningen ser vi at shakeren klarer fint 10g med en 54 gram belastning på toppen. Da ligger vi fint innenfor grensen med 84.2gram til frekvenser under 5 kHz. Dermed vil dette være en like god løsning som Type 4809, men har en fordel ettersom Type 4810 er rimeligere og fysisk størrelse er mindre. En annen fordel er mindre vekt, 1.1kg istedenfor 8.3kg, noe som gjør den mer mobil ved forflytning. Prisen for nyanskaffelse av Type 4808 ligger per dags dato på 15500 kr u/mva.

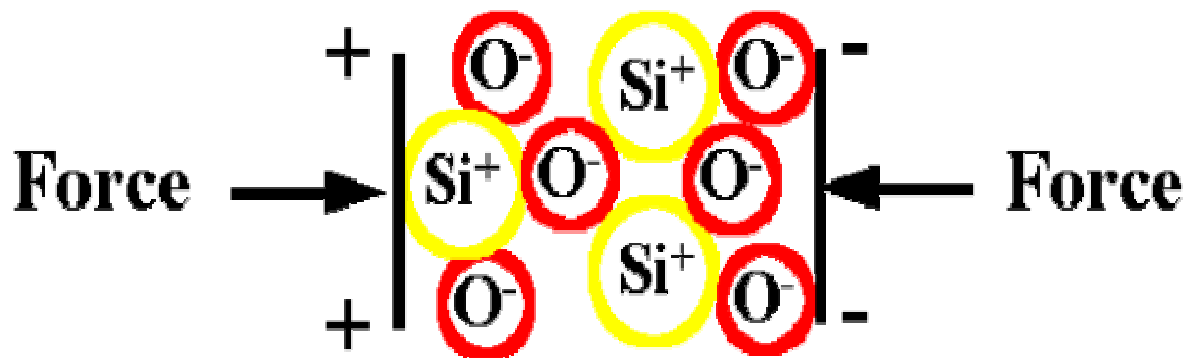
2.5.5 Konklusjon, shakere

Den shakeren vi har i dag virker ikke helt optimal pga av slitasje og den bør levers til Brüel & Kjer for vurdering. Hvis en reparasjon er mulig og lønnsomt vil nok det anbefales, men en anskaffelse av Type 4810 bør også vurderes. Pga denne er langt rimeligere enn Type 4809 og vil gjøre kalibreringen på tilsvarende måte som Type 4809. Man kan også bruke samme forsterker på 4810 som 4809. Type 4808 vil nok ikke anbefales pga da denne ikke er mobil (35kg) og man må også anskaffe en ny forsterker som klarer å drive denne, som gir en ekstra kostnad.

2.6 Piezoelektriske Sensorer

2.6.1 Generelt om piezoelektriske sensorer

Vi skal bruke piezoelektriske sensorer til å måle akselerasjon. Det finnes flere forskjellige piezoelektriske sensorer, som trykk, kraft og akselerasjon og oppbygningen av piezoelektriske sensorer er vist i figur 11



Figur 11 Prinsippskisse

Der har vi en kraft utenifra som trykker på hver side, dette stresser den piezoelektriske sensoren og vi får en elektrisk ladning. De gule ringene er silisium atomer og de røde er oksygen. Med disse stoffene får vi de mest sensitive og stabile piezoelektriske sensorene.

Fordelen med å bruke piezoelektrisk materiell er at den klarer å gi et bra utsignal selv ved lite stress. Sensorene har heller ikke noe særlig avvik, er robuste, bra linearitet og et bra amplitude område. Med disse spesifikasjonene finnes det akselerasjonssensorer som kan måle akselerasjon ned i 0,0001g og opp til 100g.

Piezoelektriske elementer kan kun brukes til å måle dynamikk og vekslende hendelser, dvs. sensorene ikke kan brukes til å måle kontinuerlig statiske hendelser. Eksempler på statiske hendelser er barometertrykk og vektmålinger.

Under vårt prosjekt skal vi bruke akselerasjonsmeter og de fungerer forenklet sagt ved at de gir ut en spenning som funksjon av påtrykt akselerasjon. Sensorene reagerer kun på forandring av akselerasjon og er derfor upåvirket av gravitasjonen.

2.6.1.1 Hva er g krefter?

G-kraft står for gravitasjonskraft, og brukes til å angi akselerasjonskrefter. Et eksempel på g-krefter er hvis et menneske blir utsatt for 5g, da vil mennesket være utsatt for en kraft som er 5 ganger sin egen vekt. På jordkloden er vi utsatt for en g-kraft lik 1g når vi står i ro og ved 0g vil dette oppfattes som vektløshet. Dvs. at vi har to typer g krefter, positive og negative.

Vi har sikkert alle kjørt berg-og-dal-bane en gang i livet og der blir vi utsatt for både positive og negative g krefter. Når vognen kommer inn en bråsving eller en brå stigning blir kroppen presset nedover imot settet og man blir utsatt for positive g-krefter. Mens et dykk i banen vil føles som at kroppen er vektløs og dermed blir dette negative g-krefter

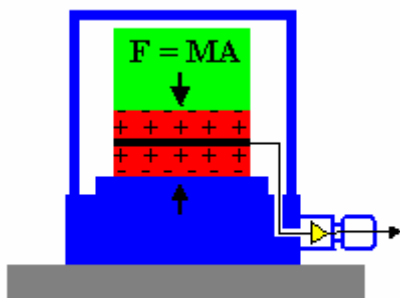
2.6.2 Akselerasjonssensorer

Akselerasjonssensorer blir blant annet brukt som følere i krasjdukker, måling av pakkematerial og målinger av seismiske vibrasjoner. Det finnes flere forskjellige typer akselerasjonsmeter med hver sine fordeler og ulemper.

2.6.2.1 Virkemåte

Piezoelektriske akselerasjonsmeter oppnår piezoelektrisk effekt av kvartskrystall eller keramiske krystall. Ved hjelp av dette materiellet får man elektrisk utspenning som er proporsjonal med tilført akselerasjon. Den piezoelektriske effekten produserer en motsatt samling av lade partikler på krystallet. Denne ladningen er proporsjonal med tilført kraft eller stress. En tilført kraft på et kvartkrystall fører til forandringer på de positive og negative ionene, som gir en samling av lade ioner til den motsatte overflaten. Disse lade ionene blir en spenning som blir optimalisert ved hjelp av mikrotransistorer. Akselerasjonsmetret har en bestemt frekvensområde, i dette området kan vi tilnærmelesvis si at den følger Newtons andre lov $F = ma$. Derfor er den totale mengden av samlende ladning proporsjonal med tilført kraft, og kraften er proporsjonal med akselerasjonen. Den samlende ladning blir ført til en signaltilpassning som enten er utenforstående eller bygg inn i sensoren. De sensorene som har signaltilpassning innebygd blir kalt Integrated Electronics Piezoelectric (IEPE) og etter tilpassning har man et signal som behandles videre. Sensorene fra PCB som har signaltilpassning blir kalt ICP® (Integrated Circuit – Piezoelectric)

2.6.2.2 Oppbygning av akselerasjonssensor



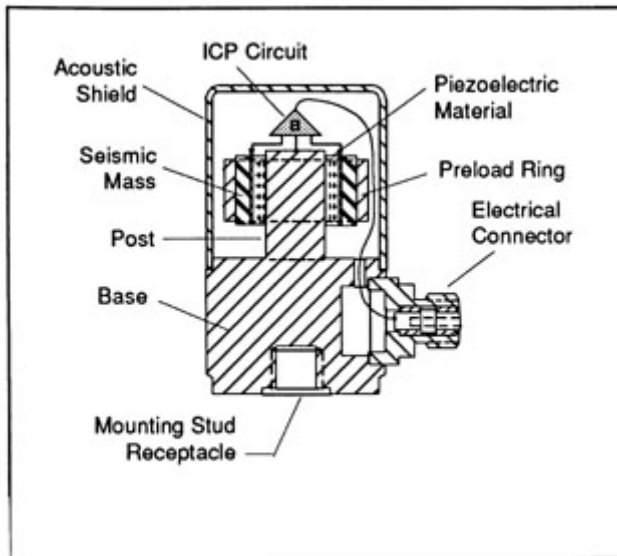
Accelerometer

Figur 12 Prinsippskisse av akselerasjonssensor

Figuren viser i prinsippet hvordan akselerasjonsmeter er oppbygd. Der grå farge er teststrukturen som sensoren er festet til, den blå fargen er sensorhuset, den grønne feltet er massen og det røde feltet er det piezoelektriske krystallet. Inne i det piezoelektriske krystallet oppstår det elektriske ladninger som er markert med svart farge, den gule pilen er den elektriske spenningen som blir skapt ved hjelp av mikrotransistorer. Vår sensor har følgende materialet, sensorhuset er av titanium, ”følerhodet” er av kvartskrystall og forseglingen er sveist metall.

Det er to strukturhovedtyper av akselerasjonssensorer i dag, Shear mode og Flexural Beam. Sensoren vi bruker i prosjektet er av shear mode og beskrevet i avsnitt under.

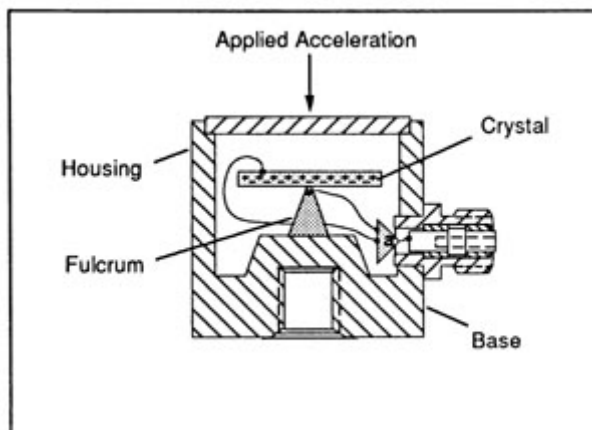
Shear mode: Shear betyr klipping/skjære på norsk og oppbygningen av en shear mode sensor er vist i figuren under.



Figur 13 Shear mode oppbygning

Ut fra figuren er "Shear mode" forbindelsen, krystallet mellom den midtre stolpen og den seismiske massen. "Preload ring" er der for å skape en stiv og fast struktur mot stolpen. Under akselerasjon, vil massen skape en "klippende" belastning på det piezoelektriske elementet og ved å isolere krystallet fra sensorhuset/flaten slipper man termiske transienter og bøyningseffekt. "Shear mode" akselerasjonssensorene er små og tar liten plass, noe som er en fordel ved at de ikke belaster den konstruksjonen som skal testes.

Flexural Beam: Flexural Beam har en stråleformet følekrystall som produserer belastning når krystallet er under akselerasjon. Disse akselerasjonsmeterne er av liten størrelse, vekt, termisk stabile og rimelige i innkjøp. Flexural beam blir mest bruk i ved lave frekvenser og måling av lave g krefter. Oppbygningen er vist i figuren under



Figur 14 Flexural Beam

2.6.2.3 Piezoelektrisk materiell - kvart

Som nevnt brukes det to typer materiell for PCB sine akselerasjonssensorer, nemlig kvarts og polykrystallisk keramikk. Der kvart er et naturlig krystall og keramikk er menneske skapt. Begge typene har hver sine fordeler og hvilket som skal brukes bestemmes av hva du ønsker å måle. Kvart har de beste egenskapene når det kommer til nøyaktighet ved tids og frekvensmålinger. Eksemplet på bruk av kvartkrystall er i vanlig klokker, data, radioer og mye andre underholdningsutstyr. Kvart blir ansett som det mest nøyaktige materiale av samtlige piezoelektrisk materiale og har ingen tendens til å gå over til andre "nivåer". Videre vil kvartsakselerasjonsmeterne være langtidsstabilitet og ha en utgangs nøyaktighet selv ved temperatur forandringer. Man bør ikke bruke kvartkrystall i temperaturer over 315°C.

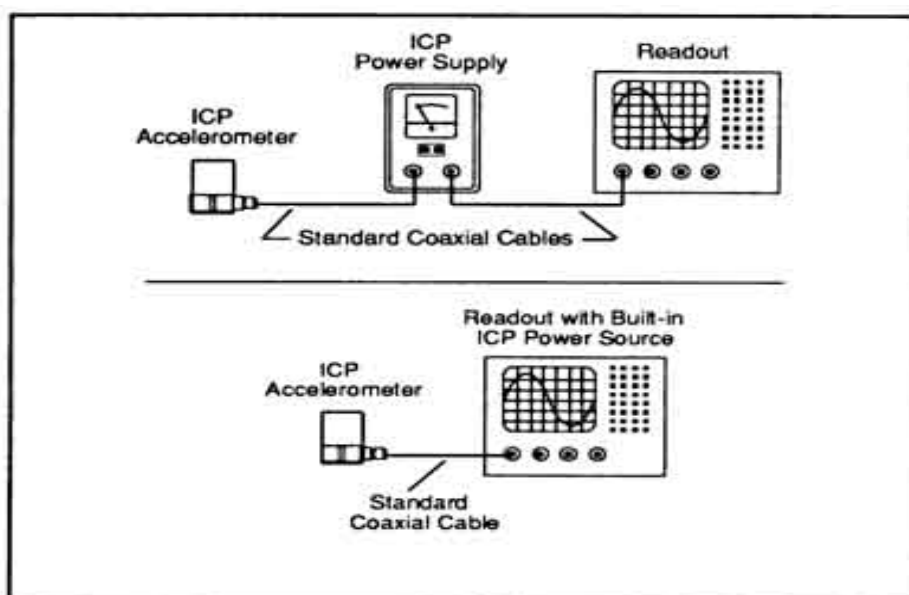
2.6.3 Følesystemet til akselerasjonsmetret

Det er to kategorier piezoelektriske akselerasjonsmeter, ICP med innebygd mikroelektrisk signaltilpassning og "Charge mode" akselerasjonsmeter som ikke har noen form for elektronikk eller tilpassning inne i seg. Sensoren vi bruker er av ICP og dette er beskrevet i avsnittet under.

2.6.3.1 ICP® Akselerasjonsmeter

Som nevnt er dette akselerasjonsmeter med innbygd mikroelektronikk som lager en signaltilpassning for videre bruk. I detalj vil man si at man konverterer det høye impedans ladde signalet som blir skapt av det piezoelektriske elementet til et lav impedans spenningsignal. Dette spennings-signalet kan da bli overført via kabel til videre bruk, som for eksempel i prosjektet vårt inn til DAQ kortet. ICP akselerasjonsmeter er enkle, har bra nøyaktighet, stort frekvensområde og er dermed anbefalt i vibrasjon og sjokk anvendelser. Noe som er grunnen til at vi bruker nettopp denne typen sensor.

Ved bruk av ICP akselerasjonsmeter må man ha en ekstern konstant strømkilde og denne strømkilden blir skapt ved hjelp av en DC spenning. Inne i denne strømkilden vil det også være en form for signaltilpassning, som for eksempel forsterkning, filtrering og overbelastningsvern. Figuren under viser hvordan oppkoblingen foregår i praksis



Figur 15 To forskjellige oppkoblingsmetoder

2.6.3.2 Modell 480E09

I vårt bruker prosjekt bruker vi Modell 480E09 som strømkilde og signaltilpassning. Modell 480E09 går på batteridrift og har en brukstid på 50 timer. Batteriene er 3 stk 9VDC "røykvarslerbatteri", det er også mulig å bruke oppladbare NiMH batterier ettersom det er innebygd ladekrets. Da vil man få en brukstid på rundt 20 timer. Modell 480E09 har bare mulighet for en kanal dvs. det er bare en inngang og en utgang. Frekvensområdet ligger fra 0-100kHz med 1x eller 10x forsterkning, med 100x forsterkning har man et frekvensområde fra 0.15-50kHz. Spennning til sensoren er fra 27-29VDC og strømmen til sensoren er fra 2 til 3.1mA. Bilde av Modell 480E09 er vist under og mer utdypende spesifikasjoner finner man i vedlegg



Figur 16 Modell 480E09

2.6.4 Montering av akselerasjonssensorene

Ønsker man best mulig måleresultater er det viktig med en glatt og flat maskinbearbeidet festeoverflate. Dette gjelder først å fremst ved høye frekvenser, det kan også være en fordel å ha på silisium fett mellom akselerasjonsmetret og festeoverflaten.

Vi fester akselerasjonsmetret med hjelp av festeskruen som er på akselerasjonsmetret og skrur den fast i festestykket. Da er det veldig viktig at festestykket er slik som nevnt ovenfor, slik at målingene ikke blir unøyaktige.



Figur 17 Shakeren med festestykke

Eneste festeordningen vi hadde var toppflaten på shakeren og vi festet akselerasjonsmeterne med bivoks. Vi fant ut at dette var en enkel løsning som gjorde målingene våre usikre og vi bestemte oss for å lage et festestykke. Ettersom labingeniør John Elvesveen hadde bakgrunn fra mekanikk spurte vi han om hjelp om å lage festestykket, noe som han ville. Festestykket har følgende spesifikasjoner

Bredde	16mm
Høyde	16mm
Lengde	39mm
Bredde fra midtsenter til festehull	12mm
Størrelse festehull	5-40 UNC-2A
Festeskrue	umbrako

Tabell 15 Spesifikasjoner festestykke

Festestykket virket som vi hadde håpet på og målingene ble mer nøyaktigere og sikrere.

Merk

Det er veldig viktig at man fester kabelen fra akselerasjonsmetret til strømkilden, på shakeren, slik at kabelen er mest mulig rolig under kalibrering. En løs kabel kan ødelegge sensoren og også skape unøyaktige målinger. Kabelen skal heller ikke utsettes for strekk og belastning direkte på kabelen.

2.6.4.1 Akselerasjonssensor, Modell 353B15 fra PCB Piezotronics

Dette er akselerasjonssensorer som FFI eier og som vi har brukt under dette prosjektet. Vi fikk i utgangspunktet låne to stykker fra FFI, men fikk etter hvert låne tre stykker pga usikkerhet rundt målingene. Akselerasjonsmeter Modell 353B15 har følgende spesifikasjoner

PERFORMANCE	ENGLISH	SI
Sensitivity ($\pm 10\%$)	10 mV/g	1.02 mV/(m/s ²)
Measurement Range	± 500 g pk	± 4905 m/s ² pk
Frequency Range ($\pm 5\%$)	1 to 10,000 Hz	1 to 10,000 Hz
($\pm 10\%$)	0.7 to 18,000 Hz	0.7 to 18,000 Hz
(± 3 dB)	0.35 to 30,000 Hz	0.35 to 30,000 Hz
Resonant Frequency	≥ 70 kHz	≥ 70 kHz
Broadband Resolution (1 to 10,000 Hz)	0.005 g rms	0.05 m/s ² rms [1]
Non-Linearity	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$ [2]
Transverse Sensitivity	$\leq 5\%$	$\leq 5\%$ [3]
ENVIRONMENTAL		
Overload Limit (Shock)	$\pm 10,000$ g pk	$\pm 98,100$ m/s ² pk
Temperature Range (Operating)	-65 to +250 °F	-54 to +121 °C
Temperature Response	See Graph	See Graph
Base Strain Sensitivity	≤ 0.002 g/ $\mu\epsilon$	≤ 0.02 (m/s ²)/ $\mu\epsilon$ [1]
ELECTRICAL		
Excitation Voltage	20 to 30 VDC	20 to 30 VDC
Constant Current Excitation	2 to 20 mA	2 to 20 mA
Output Impedance	≤ 100 ohm	≤ 100 ohm
Output Bias Voltage	8 to 12 VDC	8 to 12 VDC
Discharge Time Constant	0.5 to 2.0 sec	0.5 to 2.0 sec
Spectral Noise (1 Hz)	3200 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	31,392 ($\mu\text{m}/\text{s}^2$)/ $\sqrt{\text{Hz}}$ [1]
(10 Hz)	700 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	6867 ($\mu\text{m}/\text{s}^2$)/ $\sqrt{\text{Hz}}$ [1]
(100 Hz)	180 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	1766 ($\mu\text{m}/\text{s}^2$)/ $\sqrt{\text{Hz}}$ [1]
(1 kHz)	64 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	628 ($\mu\text{m}/\text{s}^2$)/ $\sqrt{\text{Hz}}$ [1]
PHYSICAL		
Sensing Element	Quartz	Quartz
Sensing Geometry	Shear	Shear
Housing Material	Titanium	Titanium
Sealing	Welded Hermetic	Welded Hermetic
Size (Hex x Height)	0.31 in x 0.43 in	7.9 mm x 10.9 mm
Weight	0.07 oz	2.0 gm [1]
Electrical Connector	5-44 Coaxial	5-44 Coaxial
Electrical Connection Position	Side	Side
Mounting Thread	5-40 Male	5-40 Male
Mounting Torque	8 to 12 in-lb	90 to 135 N-cm
SUPPLIED ACCESSORIES:		
Model 080A109 Petro Wax (1)		
Model 080A15 Adhesive Mounting Base (1)		
Model ACS-1 NIST traceable frequency response (10 Hz to upper 5% point). (1)		
OPTIONAL VERSIONS		
A - Adhesive Mount [5]		
Supplied Accessory : Model 080A90 Quick Bonding Gel (1)		
B - Low bias electronics		
Output Bias Voltage	4.5 to 7.5 VDC	4.5 to 7.5 VDC
Excitation Voltage	12 to 30 VDC	12 to 30 VDC
Constant Current Excitation	1 to 20 mA	1 to 20 mA
Measurement Range	± 300 g pk	± 2943 m/s ² pk
J - Ground Isolated		
Frequency Range (+5%)	8 kHz	8 kHz
(+10%)	15 kHz	15 kHz
Resonant Frequency	≥ 56 kHz	≥ 56 kHz
Electrical Isolation (Base)	$>10^8$ ohm	$>10^8$ ohm
Size - Hex x Height	0.37 in x 0.57 in	9.5 mm x 14.5 mm
Weight	0.11 oz	3.2 gm [1]
M - Metric Mount		
Mounting Thread	M3 x 0.50 Male	M3 x 0.50 Male
Supplied Accessory : Model M080A15 Adhesive Mounting Base (1) replaces Model 080A15		
Q - Extended discharge time constant		
Frequency Range (-5%)	0.15 Hz	0.15 Hz
(-10%)	0.1 Hz	0.1 Hz
Discharge Time Constant	≥ 5 sec	≥ 5 sec
Settling Time (within 10% of bias)	≤ 45 sec	≤ 45 sec
Supplied Accessory : Model ACS-4 Single-axis, low frequency phase and amplitude response calibration. (1)		
W - Water Resistant Cable		

Electrical Connector	Sealed Integral Cable	Sealed Integral Cable
----------------------	-----------------------	-----------------------

All specifications are at room temperature unless otherwise specified.

NOTES:

- [1] Typical.
- [2] Zero-based, least-squares, straight line method.
- [3] Transverse sensitivity is typically $\leq 3\%$.
- [4] See PCB Declaration of Conformance PS023 for details.
- [5] Adhesive mounting base is not required. "Quick Bonding Gel" has maximum temperature range of 180 ° F (82°C).

Tabell 16 Spesifikasjoner 353b15

Ut fra spesifikasjonene ser vi at våre akselerasjonsmetret har piezoelement (Sensing Element) av typen kvart og oppbygningsmetode (Sensing Geometry) av typen Shear og blir dermed kalt quartz shear ICP® akselerasjonsmeter. Det som kan være et problem er at sensoren har en forskjell på linearitet i forhold til frekvensbåndbredden på ca $+5\%$ fra en lineær skala. Dette gjør at disse ikke er 100% ideelle å bruke som kalibrerings sensorer. Maks feil kan da bli 10% hvis vi er uheldige.

Hver sensor har forskjellig følsomhet i mV/ g og denne kan du lese ut fra kalibreringsverdiene i tabellen under.

Sensor	1	2	3
Serialnummer	46918	26768	15762
Følsomhet	9.86mV/g	10.08mV/g	9.77mV/g
Frekvensområde	1-10000Hz	1-10000Hz	1-10000Hz
Forspenning (Bias Level)	9.7V	8.7V	9.0V
Siste kalibreringsdato	28.10.03	28.10.03	28.10.03

Tabell 17 Kalibreringsverdier for nåværende akselerasjonssensorer

2.7 Annet utstyr bruk under prosjektet

2.7.1 Digitalt multimeter, Fluke 45

Vi har brukt Fluke 45 en del under prosjektet, først å fremst av å lese av måleresultater fra akselerasjonssensorene. Dette er et multifunksjon multimeter med stor nøyaktighet og måler med "True RMS" både med AC og DC strøm/spenning. Metret har to display som kan vise hver sin forskjellige måling. Fluke 45 har følgende spesifikasjoner

Funksjon	Område	Beste nøyaktighet	Oppløsning
VDC	300mV-1000V	$\pm 0.025\%$	1 μ V-0.01V
VAC(true RMS, AC koblet) Frekvens 20 Hz -100kHz	300mV-750V	$\pm 0.2\%$	1 μ V-0.01V
ADC	30mA-10A	$\pm 0.05\%$	0.1 μ A-10mA
AAC	10mA-10A	$\pm 0.5\%$	0.1 μ A-10mA
Frekvens	5Hz->1MHz	$\pm 0.05\%$	0.01Hz-1kHz

Tabell 18 Spesifikasjoner Fluke 45

2.8 Oppsummering av valg av utstyr

I dette avsnittet kommer det en oppsummering av valgene som er nevnt ovenfor. Starter med valg av DAQ kort, der fant vi ut at det beste var å beholde det nåværende kortet. Pga dette kortet oppfylder de krav som er gitt og vil klare kalibreringsoppgaven på en utmerket måte. Hadde utgangspunktet vært ny innkjøp av DAQ kort, ville vi anbefalt NI6251 fra M serien. Pga NI6251 har en rimeligere pris og bedre spesifikasjoner når det gjelder oppløsning (16bits).

BNC blokken BNC 2090 kan vi beholde og vil også passe sammen med kort fra M serien ved bytte av kabel. BNC 2090 er bare en koblingsblokk for inn/utgangene våre på DAQ kortet. Når det gjelder forsterker bør man få tak i den som er anbefalt fra Brüel og Kjær, Type 2718 eller Type 2706. Pga dette er forsterkere som er laget for formålet og har de spesifikasjonene som kreves.

Når det gjelder shakeren er Type 4809 i utgangspunktet en bra nok shaker, men den bærer preg av slitasje. Her anbefaler vi at den leveres til kontroll hos Brüel og Kjær, og at de gir en vurdering av denne. Hvis reparasjon ikke er lønnsomt, kan innkjøp av Type 4810 være å anbefale. Da denne vil gjøre kalibreringen på tilsvarende måte som Type 4809 og den er langt rimeligere enn Type 4809.

Akselerasjonssensorene 353B15 og strømkilden 480E09 var valg som var gjort på forhånd av prosjektet.

3 Labviewprogrammering

3.1 Labview intro del

Labview er et grafisk programmeringsspråk for signalmottak, signalanalyse og presentasjon av signaldata. Labview baserer seg på at det skal være enkelt å forstå, samtidig som at brukeren har en enkel mulighet til å forandre og manipulere signalene. Labview er ett såkalt AAP system som står for Acquire, Analyze og present.

Acquire:

Labview er laget som ett åpent system som gjør at enhver kan programmere og manipulere dataene selv.

Analyze

Her har labview over 450 innebygde enheter for måling og analyse av data. Eksempler på innebygde enheter er filtre av alle slags typer, og helt enkle array manipulerings verktøy.

Present:

Denne delen går på interface mot Word, som vi skal bruke, og mot andre systemer som html sider og liknende.

3.1.1 Programmering i labview:

Programmeringen er ganske enkel, i og med at man tegner det vi vil ha frem i blokkskjemaer. Måten dette gjøres på er at enhver datastrøm i programmet kommer frem som linjer som vi kan manipulere til nettopp det vi ønsker. Disse har mønster og fargekode for å fortelle oss hva de brukes til.

Dette kan for eksempel være en grønn ledning inneholder data på formen true og false, en digital verdi med andre ord. Blå ledning inneholder data om en analog verdi med en tidsreferanse og kalles en dynamic data type.

3.1.2 God labviewkoding

Noen råd for å få en god Labview kode.

- bruk god plass
- ikke ha mer enn to bøyler på ledningene da dette gjør at det blir ledning kaos i programmet og vi mister oversikten
- Lag tekstbokser og forklar koden, husk at andre enn deg selv skal vite hva du holder på med
- Ha alltid innganger på venstre side og utganger på høyre side så programmet blir mest mulig linje formet.

Hvis man følger disse rådene vil man få en god kode som er lett å feilsøke på.

3.1.2.1 Eksempel på Labviewkode

Et eksempel på en enkel Labview kode som demonstrerer Labview språket

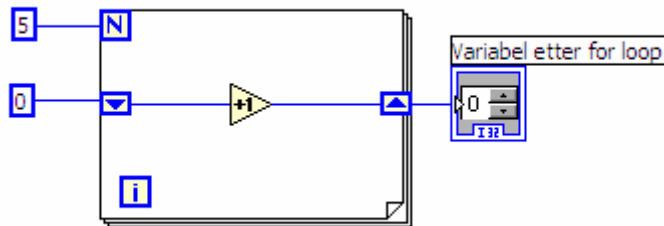
Sammenligning av løkker og liknende i Labview i forhold til konvensjonelle språk som for eksempel C++. Ett lite eksempel for å vise hvordan Labview virker og hvor lett det er å lage komplekse programmer, er å vise forskjellen mellom Labview og C++.

Eksempel med en for- løkke som går fem ganger og inkrementerer en variabel med en for hver gang for- løkken går.

I C++ vil koden se slik ut:

```
var=0;
for(int i=0;i<5;i++){
var++;
}
```

Med Labview ser koden slik ut:



Figur 18 For løkke i Labview

Som vi ser av eksempelet over så er Labview veldig lett forståelig og enkelt å sette opp. På ett sånn program bruker du cirka fem klikk med musa.

Men det er noen ulemper med dette også. Vi har ikke den samme kontrollen over det vi skal gjøre, men på en annen side så slipper vi unna med å skrive ganske lite selv om programmet er ganske komplekst. Labview er heller ikke lagd for å ha mest mulig kontroll over drivere og porter i PC'en, men heller muligheten til å sette opp ett godt måleoppsett, raskt .

3.2 Oppsett av DAQ kort og BNC blokk i labview

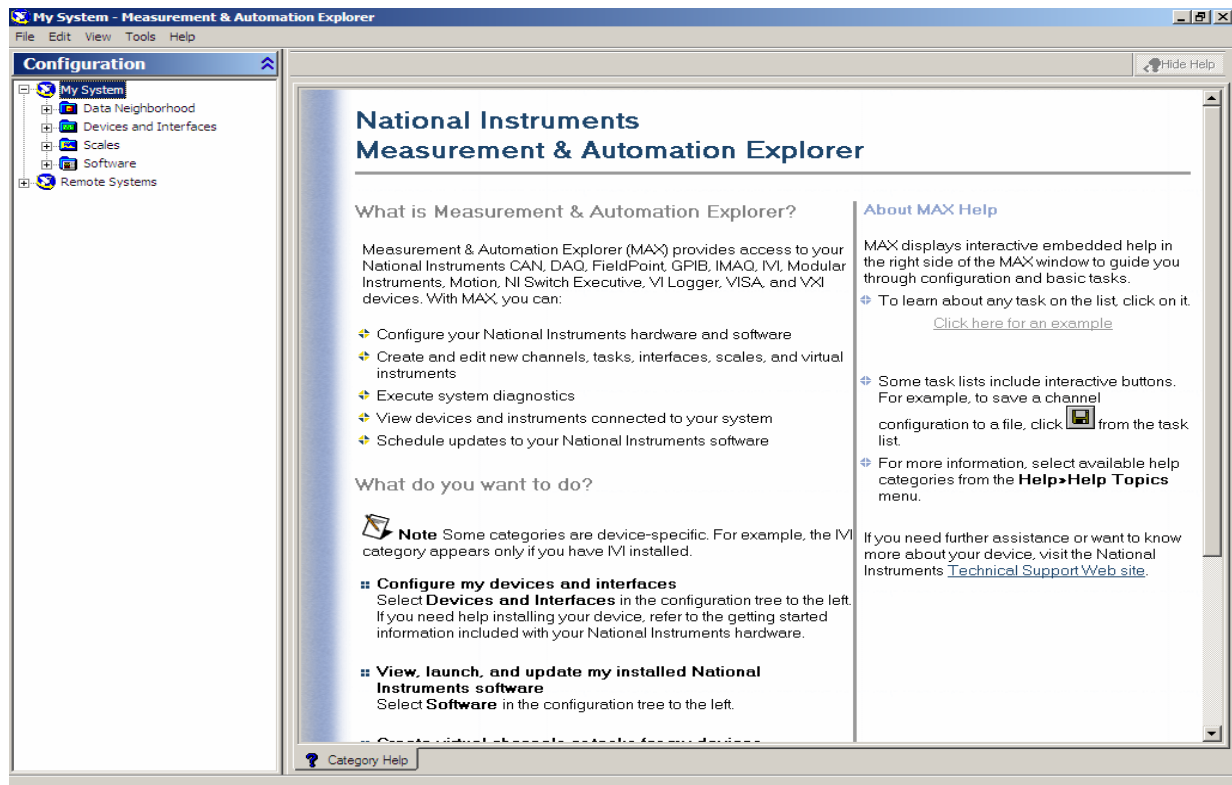
3.2.1 Oppsett av DAQ kort i labview

Oppsettet av DAQ kortet skjer i en pakke som følger med i basis pakken til Labview 7.0 ekspress. Denne pakken heter measurement automation explorer.



Figur 19 Skjerm bilde av measurement & automation explorer

I denne pakken har du mange muligheter til å sette opp og manipulere DAQ kort, samt BNC-2090 som er BNC blokken som vi bruker som tilbehør til DAQ kortet.



Figur 20 Valg i measurement & automation explorer

Som vist i figur 20 så har vi en del valg i measurement & automation explorer.

Data neighbourhood inneholder forhåndsdefinerte tasker, dette er akkurat det samme som vi setter opp i programmet vårt, men her kan vi sette det opp og bare bruke en link til denne tasken i programmet. Da ser programmet fort litt mer ryddig ut.

Under devices and interfaces og traditional devices kan vi se den interne adressen til kortet og i tillegg kan vi kjøre tester på dem for å se om man har kontakt med kortet.

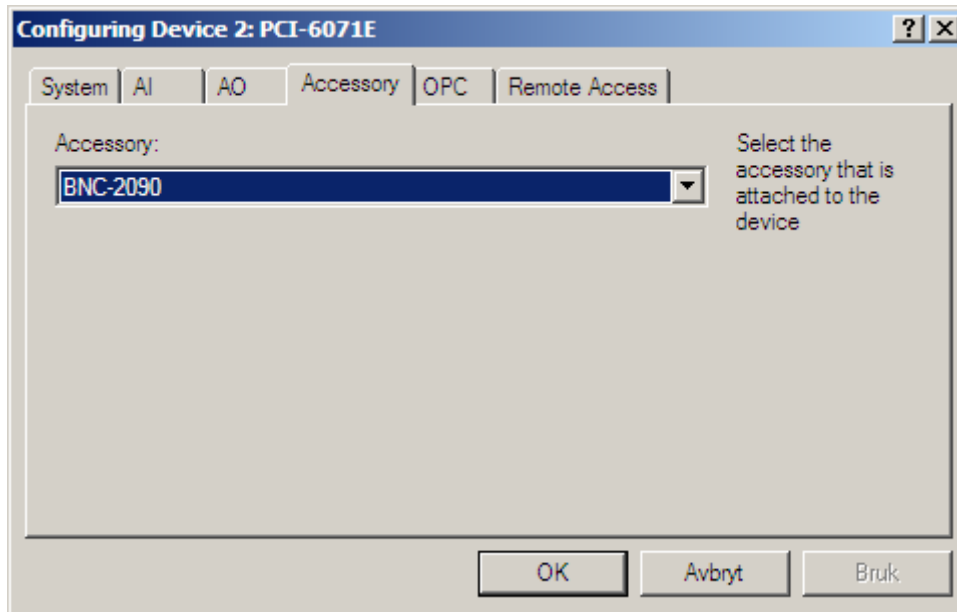
Under DAQ-MX devices kan vi kjøre tester og i tillegg kalibrere enheten sånn at den viser mest mulig nøyaktig resultater.

Under DAQ-MX devices kan vi også se på porter i PC'en og bruke de i stedet for et DAQ kortet. Vi kan også lage oss en tilpassning for signaler med samme feilen som vi ønsker å kvitte oss med, ved å legge inn en konstant eller lage en kurve som signalet blir justert etter.

3.2.2 BNC blokk, BNC-2090 i Labview, samt manuell konfigurering

Oppsett av BNC blokk under measurement and automation explorer.

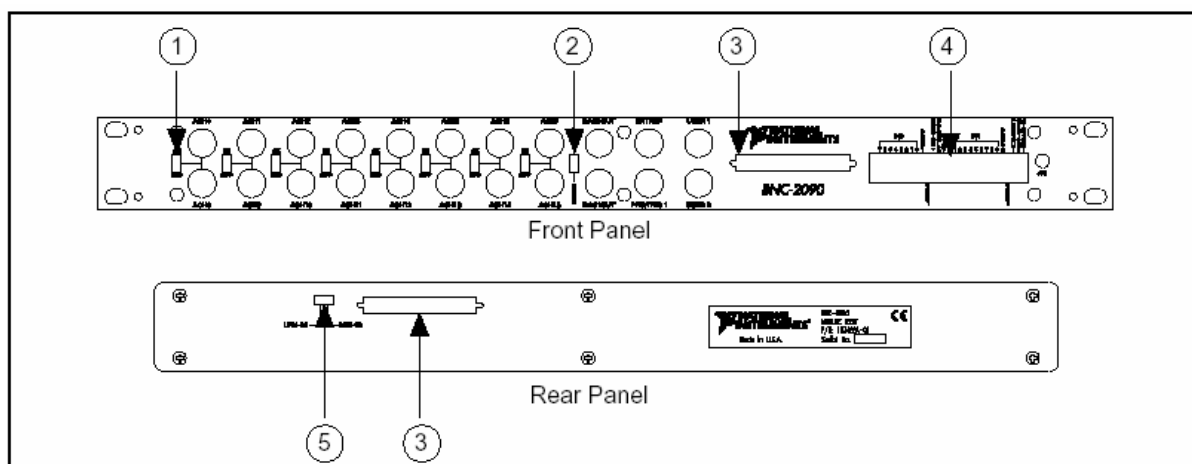
Dette gjøres ved å høyreklikke på kortet vårt under traditional daq devices menyen. Her har vi muligheten til å sette opp eventuelle tilbehør til kortet og dette er vist i figuren under



Figur 21 Oppsett av BNC 2090

Her kan vi sette BNC 2090 som standard og vi kan sette opp om vi skal bruke referenced single ended, single ended eller differential signal på bnc blokka. Vi skal bruke referenced single ended fordi vi trenger en jordingsreferanse da akselerometerene ikke har dette. Vi har heller ikke noe differensielt signal fra dem.

Det er veldig viktig å sette det opp riktig fysisk på frontpanelet til BNC 2090. Dette gjøres ved å svitsje om bryterne som vist i neste figur.



Figur 22 Frontpanel på BNC 2090

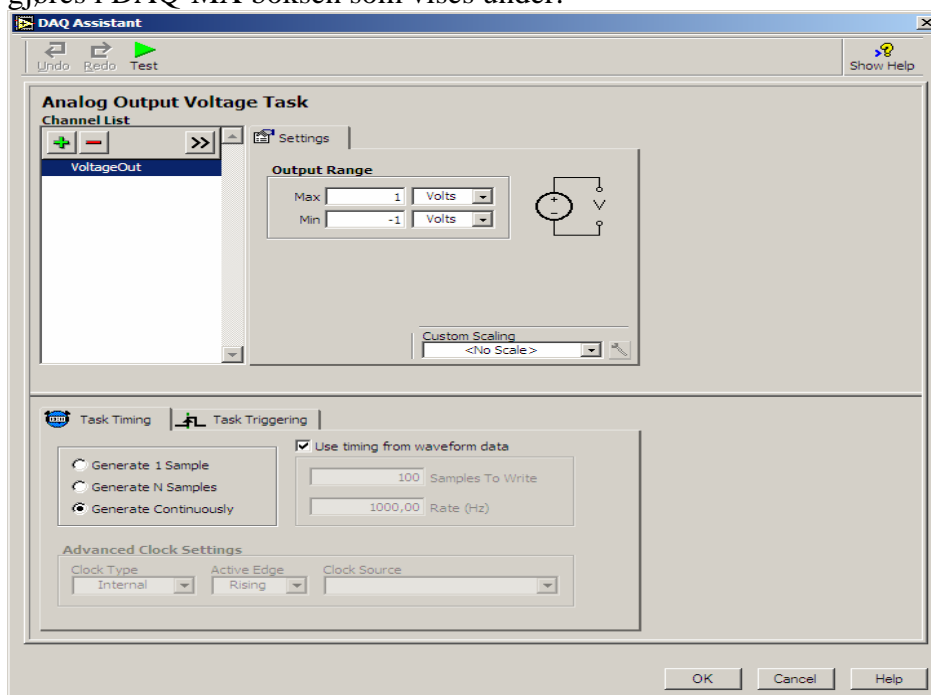
Her ser vi frontpanelet øverst og bakpanelet nederst i tegningen. Nummereringen viser viktige punkter med denne blokka.

1. Svitsj for single ended eller differential signal inn, hvis vi bruker differential så bruker vi to innganger per inngang og differansen mellom signalet kommer igjennom
2. Referenced single ended eller nonreferenced single ended. Hvis vi setter denne på RSE så får vi en intern jord i boksen. Med NRSE så må vi ha ekstern jord ellers så begynner inngangen å flyte
3. Tilkobling til daq kort i front
4. Digitale inn og utganger pluss triggering

Her skal vi da sette bryter nummer en til SE og bryter nummer to til RSE. Dette er det eneste vi behøver å tenke på her.

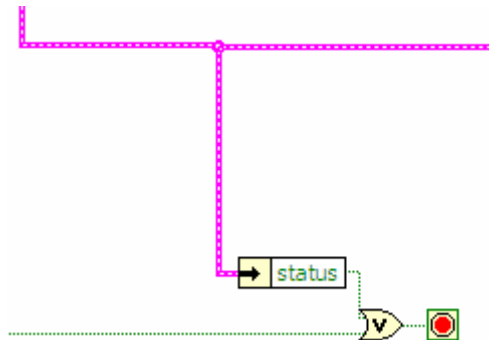
3.2.3 Enkel sperring av for høyt signal ut til forsterker

I Labview har du muligheter til å kunne sette opp ulike grenser for å slippe å ødelegge utstyr du kobler til DAQ kortet. Dette er veldig viktig for oss med tanke på tilkobling av forsterker, forsterkeren vil helst ikke skal ha signaler inn med for stor amplitude. Innstillingen av dette gjøres i DAQ-MX boksen som vises under:



Figur 23 DAQ- MX boksen

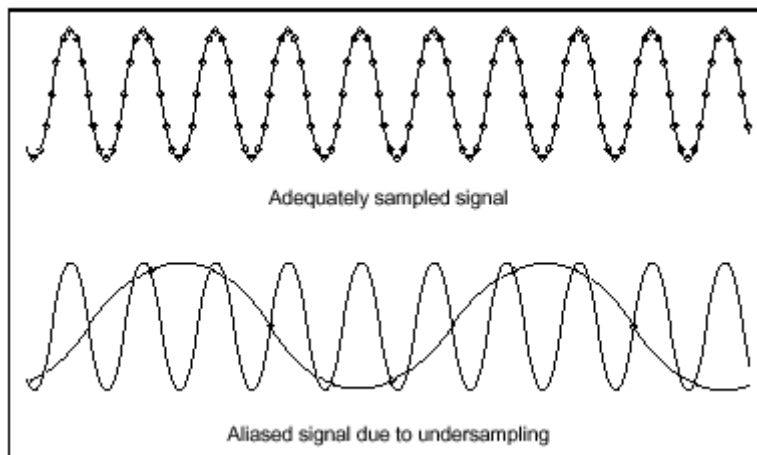
Her ser vi på output range at vi kan sette grensene til akkurat det nivået vi vil selv. Hvis nivåene overskrides så kommer det en error på error linjen fra DAQ-MX blokken. Det er viktig at error linjen er koblet riktig, slik at error linjen sin status stopper while sløyfa ved alle feil. Dette er en god måte for å sikre seg at utstyr som kobles til ikke blir ødelagt.



Figur 24 Error linjen koblet til stopp

3.2.4 Hvor høy samplingsfrekvens behøver vi?

I følge nyquist teoremet så må vi ha en samplingsfrekvens som er den øverste frekvensen vi har *2. Dette er den minste samplingsfrekvensen vi kan ha og denne gjenskaper kun sinuskurven. Men ett godt tips som kommer fra National Instruments er på ta øverste frekvens multiplisert med 10. For å få bra oppløsning så har vi valgt en array på 10000 punkter som måler over ett sekund. Da har average dc-rms funksjonen også mange punkter å jobbe med og vi vil få lite feil i signalet fordi random støy er utelukket. Hvis vi kjører for liten samplings hastighet får vi en aliasingfeil. Denne feilen oppstår på grunn av at vi har for få punkter å jobbe med og vi får en sinus med mye lavere frekvens enn den vi opprinnelig hadde på inngangen av DAQ kortet. Dette kommer frem av **Feil! Fant ikke referanseilden.** som vi ser her så får vi en betraktelig lavere frekvens fordi vi har for få måle punkter per periode.



Figur 25 Aliasingfeil

3.3 Program spesifikk del

3.3.1 Tilleggsprogrammeringspakker

I programmeringen så brukte vi Labview 7.0 express og to ekstra tilleggspakker, dette for å få til en bra presentasjon, innhenting og manipulering av resultat. Tilleggspakkene er:

- Report generation toolkit
- Sound and vibration toolset

3.3.1.1 Report generation toolkit

Denne pakken lager rapporter mot Microsoft Word og Excel, men dette finnes også fra før fordi Labview har active x kontroll innebygd. Men active x er ganske komplekst og krever en del kunnskaper på forhånd. Derfor har Labview lagd denne pakken, slik at det skal være lett å lage og finne et riktig oppsett for å få en bra rapportgenerering, med lagring og utskriftsmuligheter innebygd.


3.3.1.2 Funksjonsoverblikk

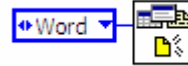
Denne pakken inneholder tre hovedkategorier av sub programmer (vi) for Labview:

- Høy nivå rapportgenerering. Disse subprogramene er de samme som følger med Labview, men med mulighet for skriving mot Word og Excel.
- Word spesifikke subprogramer. Denne delen inneholder fire høynivå subprogram og fire vanlige subprogram.
Høynivå subprogramene inneholder muligheter for lette rapporter og de vanlige subprogramene inneholder muligheter til å utforme rapportene litt mer.
 - Vanlige subprogram: Inneholder dokument oppsett, søk, erstatt og side nummerering
 - Tabeller: Inneholder subprogram for å editere og sette opp tabeller
 - Graf og bilder: Editering og oppsett av bilder og grafer
 - Avansert: Formatering og makro funksjoner
- Excel spesifikke subprogrammer. Denne delen inneholder fire høynivå og fire vanlige subprogramer for oppretting og manipulering av Excel dokumenter. Høynivå subprogramene inneholder muligheter for lette rapporter, og de vanlige subprogramene inneholder muligheter til å utforme rapportene litt mer.
 - Vanlig subprogram: Inneholder dokumentoppsett, søk, erstatt og datamottak
 - Formatering tabell og celle oppsett
 - Graf og bilder: editering og oppsett av bilder og grafer
 - Avansert makro funksjoner og diverse operasjoner.

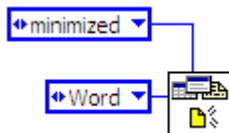
Hvordan lage en ny rapport med report generation toolset?

For å lage en ny rapport bør du følge disse stegene for å lykkes:

1. Plasser subprogrammet med navn new report.vi på blokkskjemaet ditt. 



2. Sett riktig type rapport (Word eller Excel)
3. Sett window state til minimized. Dette gjør at prosessen går fortere



4. Når du nå starter dette enkle lille programmet så vil Labview automatisk åpne ett Word dokument i minimert form.
5. For å få editert dette programmet for å få satt inn grafer og verdier så kan du bare trekke en linje fra report out og til neste rapport subprogram som du ønsker å ha i programmet ditt.

3.3.2 Sound and vibration toolset

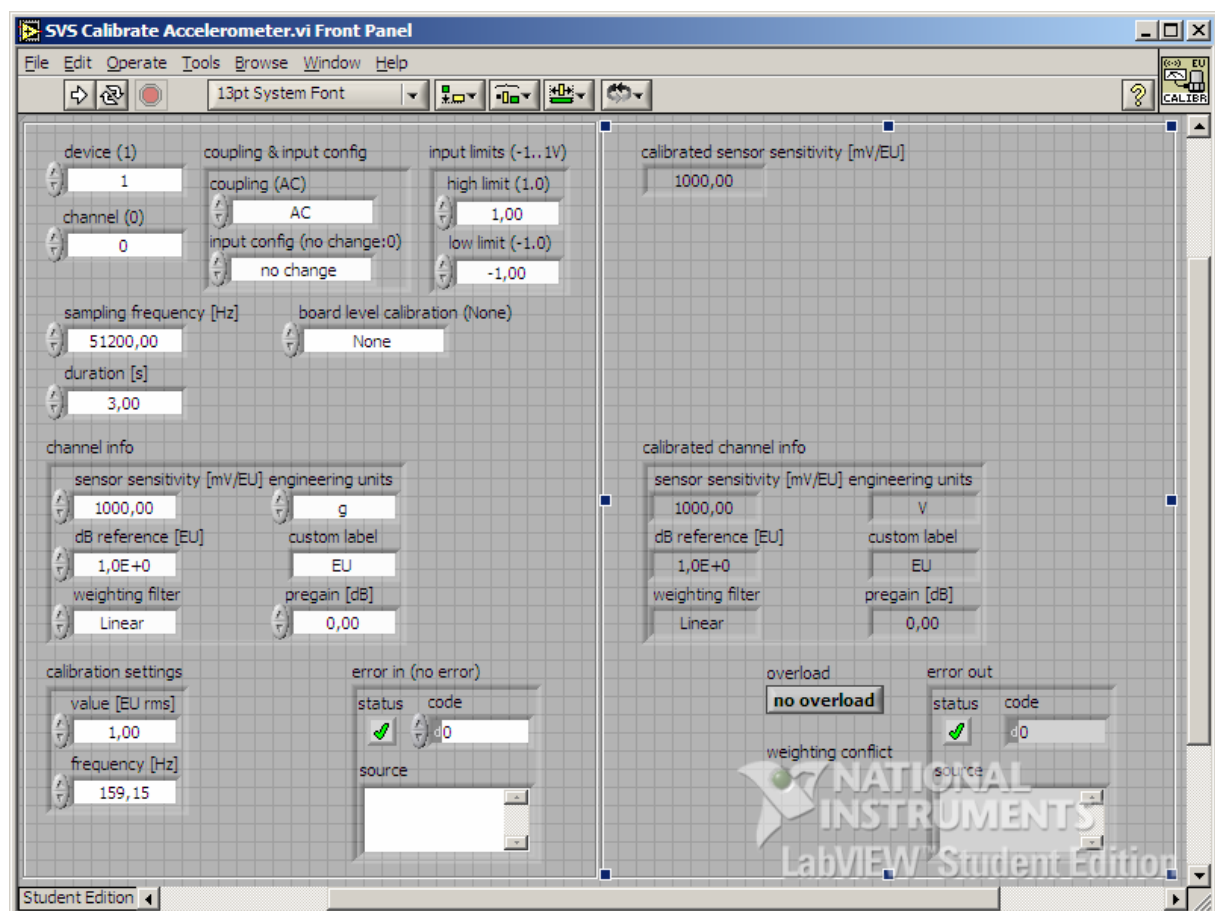
Sound and vibration toolset er en samling av virtuelle instrumenter for Labview som vi bruker til å måle lyd og vibrasjoner med. Du kan bruke pakken til å gjøre disse forskjellige oppgavene med:

- Skalering til standard enheter
- Kalibrering av måle instrumenter
- Legge på vektete filtere
- Integrering av tids signaler
- Måle amplitude
- Frekvens analyse
- Transient analyse
- Presentere resultater

Den delen vi brukte i denne pakken var kalibrering og skalering av standard enheter.

3.3.2.1 Kalibrering innebygd i sound and vibration toolset

Denne pakken er basert på at du har en referanse som du vet fra før og ikke bygd på forholdet mellom to sensorer. Front panelet ser slik ut:



Figur 26 Frontpanel for kalibrering innebygd i sound and vibration toolset

Her kan vi stille inn hvilket DAQ kort vi vil bruke og hvilke kanaler vi vil bruke. Vi kan også sette om vi har rent AC signal inn, eller om vi har en DC spenning. Andre innstillinger er

samplingfrekvens og hvilke data som er på inngangen, slik som hvor mange g vi har inn og hvilken frekvens vi bruker. Dette programmet er tenkt brukt mot PCB sine bærbare konstante g kilder, slik som 394C06. Shakeren gir akkurat ut en g med peak eller RMS verdi.

3.3.2.2 Hvordan regner sound and vibration toolset ut en sensor i mv/g?

Dette gjøres ved å plukke ut en del av det samlede signalet inn, også tar programmet FFT transformen av signalet slik at man får en DC verdi av hovedsignalet på den frekvensen vi ønsker å ha ut. Deretter så blir den høyeste peaken av FFT transformen tatt ut og det er denne vi ønsker å få ut.

Effektspektrumet har også en vindus funksjon som tar bort en god del av leakage fenomenet som gjør at effekten av signalet lekker over i 2-3-4. harmoniske også videre oppover i frekvensbåndet. Vi har en del valg av vindusfunksjoner og valget vi gjør her er viktig for hva vi ønsker å måle på. De valgene vi har er :

- 0 Uniform
- 1 Hanning (default)
- 2 Hamming
- 3 Blackman-Harris
- 4 Exact Blackman
- 5 Blackman
- 6 Flat Top
- 7 Four Term Blackman-Harris
- 8 Seven Term Blackman-Harris
- 9 Low Sidelobe

Disse brukes ved :

Transienter som er kortere enn lengden av vinduet	Rectangular
Transienter som er lengre enn vinduet	Exponential, Hanning
Vanligste filteret å bruke	Hanning
Spektral analyse	Hanning (for random excitation), Rectangular (for pseudorandom excitation)
Skille to signaler som er nærme hverandre i frekvens men har stor amplitude forskjell	Kaiser-Bessel
Skille to signaler som er nærme hverandre og har veldig lik amplitude	Rectangular
Nøyaktig signal måling på ett signal	Flat top
Sinus bølge eller kombinasjon av sinus bølge	Hanning
Sinus bølge og amplitude er viktig	Flat top
Smallbånds tilfeldige data	Hanning
Bredbånd tilfeldige data	Uniform
Sinus bølger som er i nærheten av hverandre	Uniform, Hamming
Anslags signal	Force
Respons signal	Exponential
Ikke kjent innhold	Hanning

Tabell 19 Valg ved bruk av vindusfunksjon

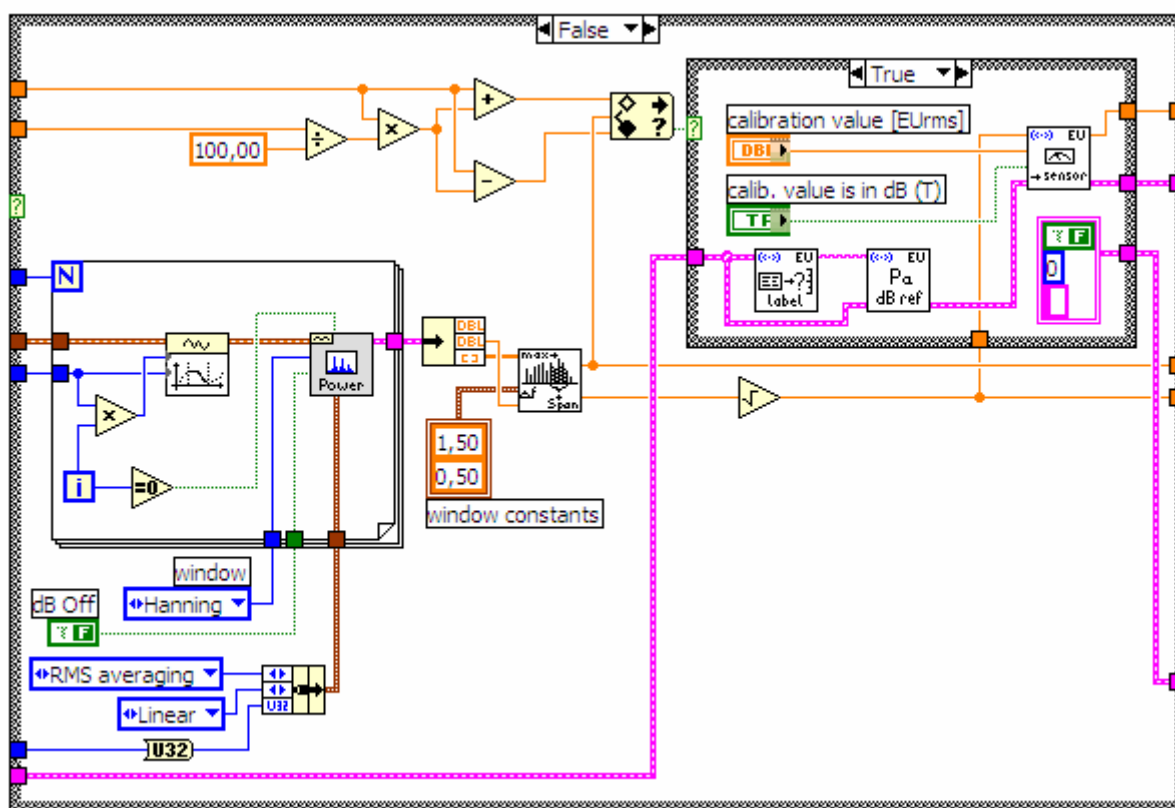
3.3.2.3 Vindusfunksjon for power & frequency estimate

Power and frequency estimate har også en funksjon som går ut på å skape ett vindu rundt senterfrekvensen som vi vil ha ut. Dette er en funksjon med den frekvensen vi vil ha ut i midten av dette området. Dette blir regnet ut etter formelen under.

$$\text{Est Power} = \text{Sum}(\text{Power Spectrum}(j) / \text{window NPW})$$

for $j = i - \text{span}/2, \dots, i + \text{span}/2$
 where $i = \text{peak index}$, $\text{Power Spectrum}(j) = \text{power in bin } j$,
 $\text{NPW} = \text{windows' equivqlent noise Bandwidth}$

Her har vi en sum av peak verdiene over området definert av vindusfunksjonen, denne vindusfunksjonen er et mål på hvor stor støy båndbredden i signalet er.



Figur 27 Hoveddelen av programmet i sound and mesurement pakken

Her ser vi hoveddelen av programmet som er innebygd i sound and measurement pakken. Her ser vi tydelig hvordan dette gjøres ved at vi først tar en del av signalet og tar power spektrum av dette. Deretter så blir signalet tatt inn i en funksjon som tar ut den største toppen i effekt spektrumet og denne blir kvadrert fordi effekt spektrumet er definert som V^2 .

3.4 Programmeringsdel i Labview

3.4.1 Bruk av averaged rms.vi



Bruk av averaged_dc_RMS.VI

I programmet vårt har vi valgt en pakke i Labview som heter averaged dc rms.vi Denne tar å regner ut gjennomsnittlig DC og RMS for et signal som den får inn.

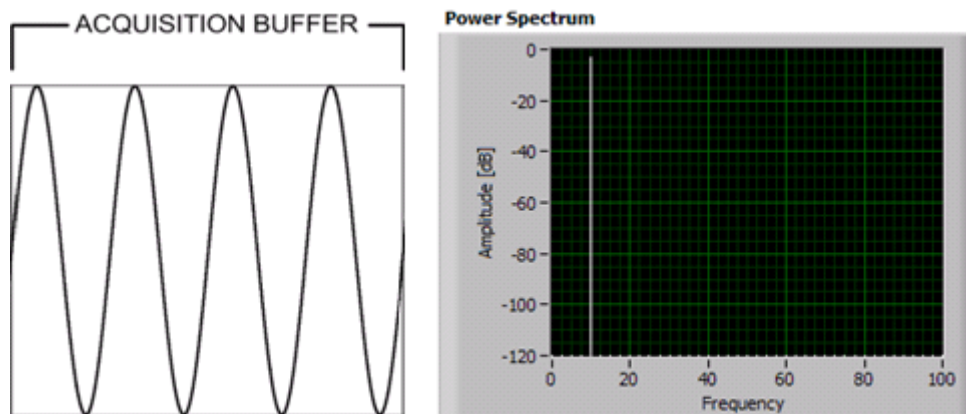
Vi valgte å bruke denne fordi, denne er enklere i bruk enn en FFT transform og så ta power spektrumet av dette.

I tillegg får vi en gjennomsnittlig verdi noe som utelukker støy i signalet.

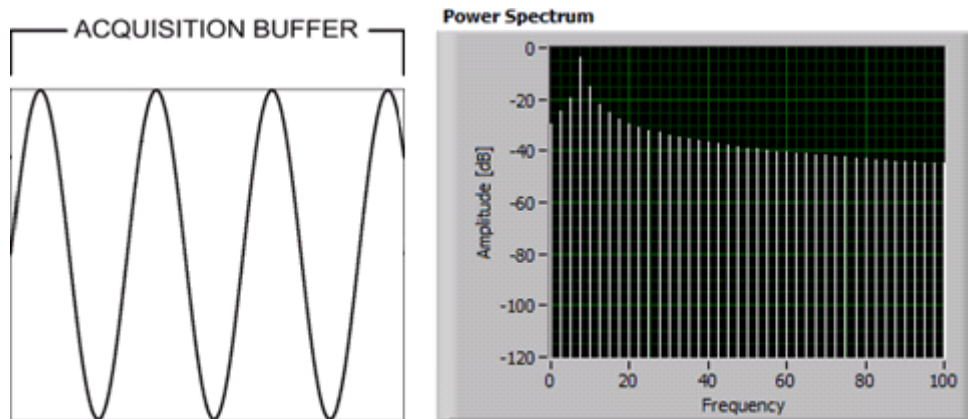
Denne fungerer bra hvis vi har en verdi på frekvensen som går opp i ett helt antall perioder i forhold til antall samplinger vi har inn. Hvis vi ikke har dette så blir det feil i båndet, med at vi får sideløber. Dette kalles leakage og er vist i figurene under.

Hvis vi her har en samplingsfrekvens som går opp i signalet og antall perioder så får vi en stolpe som viser nøyaktig signalet. For eksempel hvis vi har 10.000 sampler i løpet av ett sekund og en frekvens på signalet inn på 100 Hz. Da har vi 100 svingninger i sekundet og en periodetid på 0,01 sekund eller 10mS. Hvis vi deler 10000 sampler i løpet av ett sekund på 100 svingninger i sekundet så får vi ett heltall som viser hvor mange perioder vi har.

Men hvis vi forandrer denne frekvensen til en frekvens som ikke går opp i tallet 10000 for eksempel 150Hz, da får vi ett antall perioder på 66,67 og vi får en kraftig leakage feil som er vist i Figur 29. Dette kan påvirke resultatene våre med at vi får feil RMS verdi ut.



Figur 28 Uten Leakage feil



Figur 29 Leakage feil

FFI hadde lyst til å forandre frekvensen i programmet selv, slik at de slapp å holde seg til det vi hadde skrevet inn på forhånd. Dette gjør at vi må ta hensyn til at de kan skrive inn hva de vil, uten at det går ut over målenøyaktigheten til programmet.

For å fjerne dette har Labview en egen stringinngang på pakken `average_dc_rms.vi`. Denne inngangen heter `averaging control` og brukes til å ha fullstendig kontroll på DC og RMS målingene. Teksten under viser en liten oversikt over valg mulighetene i denne stringen.

averaging control inneholder avanserte innstillinger for å kontrollere DC og RMS målingene.

Vindu for DC er det vinduet vi setter inn før vi regner ut DC verdien

0 Rectangulært (ingen vindusfunksjon)

1 Hanning

2 Lav side lobe

Utgangs funksjon velger den prosessen vi vil at pakken skal utføre. Hvis du bare trenger RMS funksjon så ved å velge bort DC funksjonen så går prosessen mye fortere.

0 Bare DC

1 Bare RMS

2 DC og RMS

Vindu for RMS er det vinduet vi setter inn før vi regner ut RMS verdien .

0 Rectangular, (ingen vindusfunksjon)

1 Hanning

2 Lav side lobe

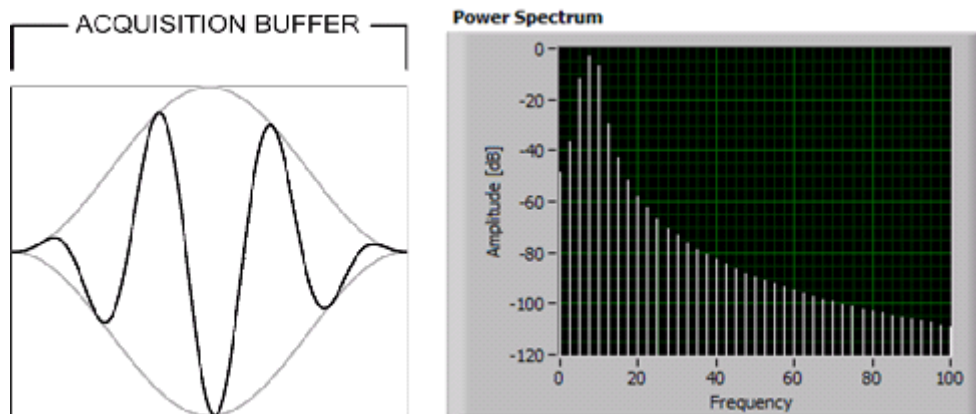
exp. time constant spesifiserer tids konstanten til det signalet vi vil utføre en RMS utregning på. **exp. time constant** = -1.00 tilsvarer at vi har en tidskonstant lik halvparten av tiden til innsignalet.

Sett **Ignore input time stamp** til sann hvis du ikke vil at denne blokken skal lete etter tids konstanten til innsignalet.

Her ser vi at vi kan tilsette en vindusfunksjon til signalet vårt slik at vi kan eliminere en del leakage feil i signalet vårt.

Disse vindusfunksjonene har som resultat at sidelobene dempes slik at vi lettere kan hente ut de dataene vi ønsker.

Denne effekten er vist i **Feil! Fant ikke referansekilden.**



Figur 30 Vindusfunksjon som eliminerer bort leakage feil

Her ser vi tydelig hva som skjer med signalet og vi ser også at sidelobene blir kuttet kraftig bort. Dette er en stor fordel fordi vi er ute etter å få ut hovedloben best mulig og som vi ser av venstre side på figur 30 så blir hovedfrekvensen ståendes i midten, mens halvperiodene ute på sidene blir dempet kraftig.

3.4.2 Hvilket filter bør vi velge til vårt formål?

Teoretisk sett så burde vi å ha ett filter som demper sidelobene maksimalt. Vi har to valg alternativer for dette på den blokken vi bruker. Det er Hanning vindu eller lav sidelobe vindu. Hanning vinduet lager en ganske bratt hovedlobe, men er ikke like flink til å dempe side lobene. Begge disse vinduene kan gjøre målingene våre mer nøyaktige, men det er litt forskjell på dem med tanke på bruksområde. Hanning vinduet bør brukes hvis man har sinusbølger. Dette er perfekt for oss. Derfor er hanning vindu det vi kommer til å bruke i vårt program.

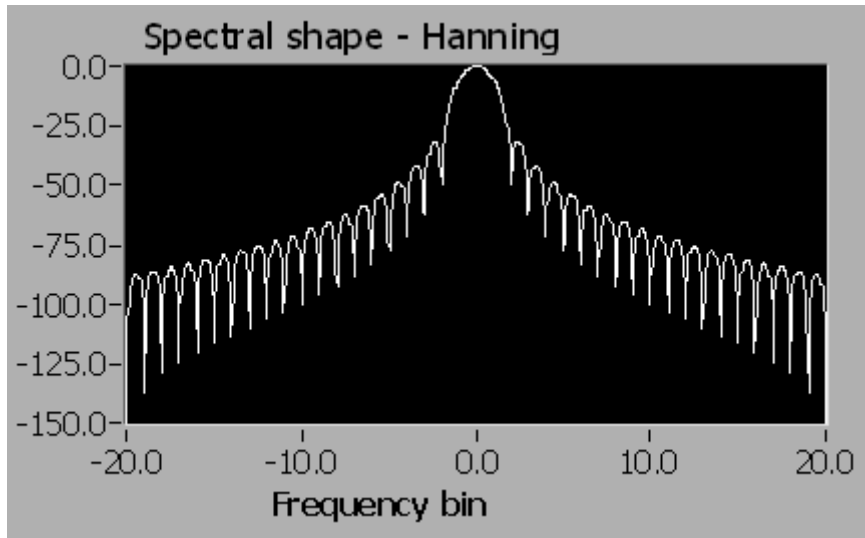
Lav side lobe vinduet kan dempe spektral energi og støy, som er lokalisert på frekvenser bort fra den frekvensen vi måler RMS verdien på.

Derfor er denne veldig bra hvis vi trenger å måle på signaler som har andre frekvenser minst 5 normaliserte frekvenshopp unna hovedfrekvensen. Denne normaliserte frekvensen er definert som $Nf = Fs/N$ der Fs er lik samplingsraten og N er lik antallet sampler i signalet vårt.

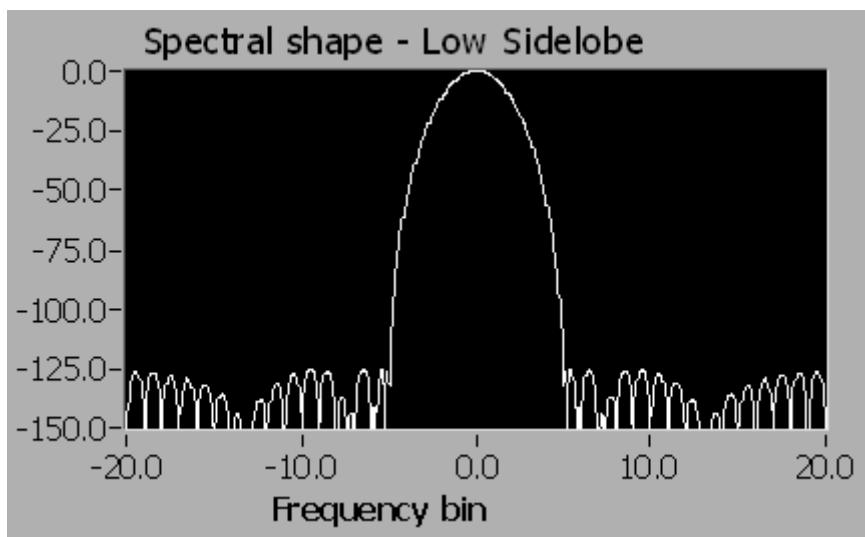
Hvis andre frekvenskomponenter er mer enn 5 normaliserte frekvens verdier ($5 * fs * n$) bort fra hovedfrekvensen blir de dempet med -125dB. Dette gjelder for lavside lobe vinduet.

For å oppnå det samme med Hanning vinduet må vi bort fra hovedfrekvensen med hele 95 normaliserte frekvens verdier ($95 * fs * n$), før vi har samme virkning på -125dB.

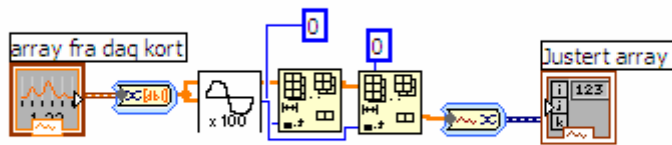
Figur 31 viser Hanning vindus funksjon og figur 32 viser lav sidelobe frekvens funksjonen.



Figur 31 Hanning vindu



Figur 32 Low sidelobe

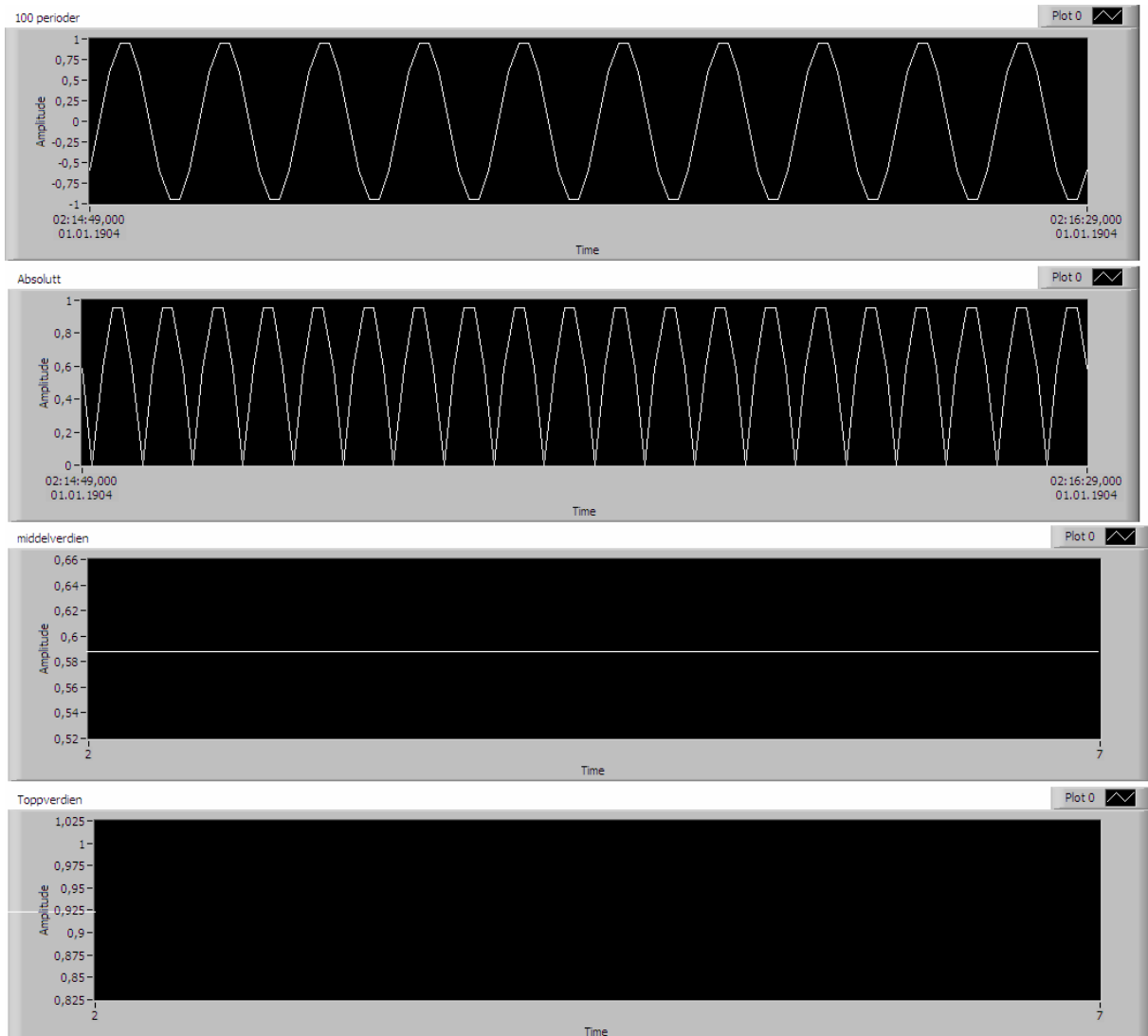


Figur 35 Subprogram for manipulering av array

Disse tallene blir brukt til å manipulere arrayen med, dette gjøres ved å bruke noen innebygde funksjoner i Labview som heter delete from array.vi. Denne funksjonen tar en array og så sletter den det antallet vi setter inn på inngangen merket med length. Den har også en inngang som heter index, men siden vi opererer med bare en kanal så velger vi å se bort fra denne. Først så slettes den delen av signalet vi ikke har bruk for, det er delen frem til første start på en hel sinus. Deretter slettes lengden på arrayen frem til 100 hele perioder, men her tar vi bare ut den slettede delen og forkaster det som er igjen av arrayen. Dette subprogramet gjør at det blir enkelt å ha gode data å måle på.

Når vi er ferdige med å manipulere arrayen tar vi absolutt verdien av signalet. Dette gjøre fordi hvis vi midler over en sinus som ligger rundt 0volt, så får vi en middelveidi ut som ligger på 0 volt.

Tegningene under forklarer hva vi får etter hver blokk.



Figur 36 1/4 sinussignal, 2/4 sinus etter absoluttverdi, 3/4 middelverdien, 4/4 toppverdien

Dette programmet regner også ut toppverdien direkte, uten å gå via RMS verdien.

Programmene vi brukte ble til slutt to stk programmer, den ene er basert på målemetoder med vinduer og ser på signalet som en helhet. Det andre bruker arrayene og manipulerer disse for å få ett bra resultat.

Vi valgte å bruke to programmer, fordi vi ville ha to innfalls vinkler og bevise at disse fungerer like bra selv om de gjør ting på hver sin måte. Dette har vi gjort for å feilsøke bedre hvis det skjer noe uventet.

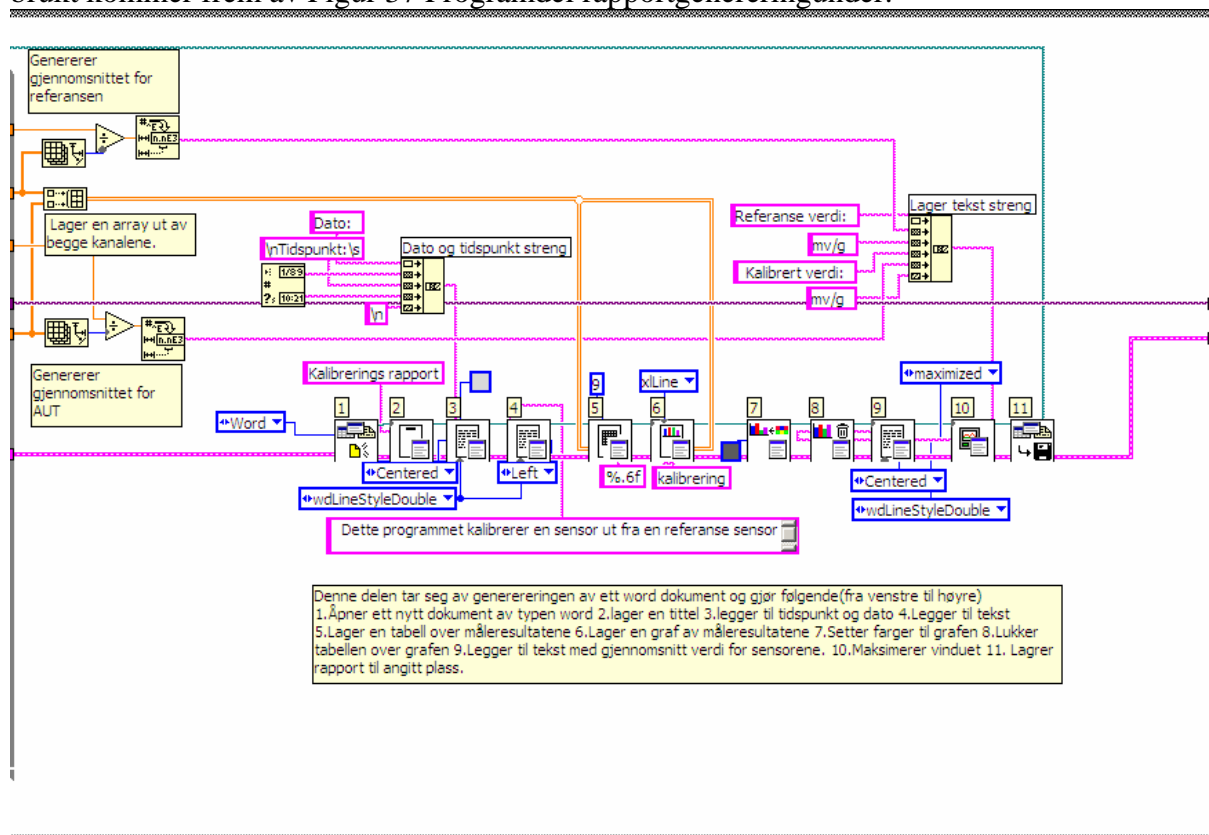
3.5 Tilleggsoppgave

3.5.1 Rapportgenerering

FFI ønsket også at vi skulle bruke en tilleggspakke som heter report generation toolkit til å lage en rapportutskrift for å få dokumentert sensorene. Dette var en ekstraoppgave som FFI ville ha med i tilfelle vi fikk tid til dette, noe som vi også fikk tid til.

3.5.1.2 Rapportgenerering til Word:

Denne delen lager ett dokument i Word som inneholder det vi vil at rapporten skal inneholde. Vi har valgt at den skal inneholde dato og tid pluss en beskrivende tekst, en graf og en tabell som viser verdien til sensorene i forhold til hverandre utover i frekvens. Oppsettet som vi har brukt kommer frem av Figur 37 Programdel rapportgenerering under.



Figur 37 Programdel rapportgenerering

De forskjellige blokkene er nummerert og viser hvordan dette er satt opp.

1. Oppretting av Word dokument
2. Tittel blir lagd (i vårt tilfelle er dette Kalibrerings rapport)
3. Tidspunkt og dato blir lagt til under tittel
4. Legger til beskrivende tekst av hva rapporten går ut på
5. Lager en tabell med oppløsning på 6 desimaler etter komma
6. Lager en graf i dokumentet som viser hvilke frekvenser vi har
7. setter fargene til grafen
8. Lukker tabellen over grafen (dette gjøres for å spare minne)
9. Legger til gjennomsnitt verdien av sensorene med mv/g som tekst
10. Maksimerer vinduet slik at vi kan se på den

11. Lagrer rapporten til angitt plass som ble skrevet inn i starten av programmet
Resultatet av dette blir som følgende:

Kalibrerings rapport

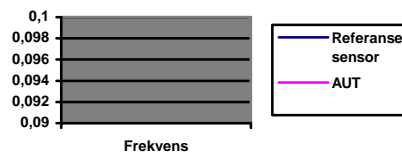
Dato: 03.05.2005

Tidspunkt: 12:28

Dette programmet kalibrerer en sensor ut fra en referanse sensor

	<i>Frekvens</i>
<i>Referanse (mv/g)</i>	0,098639
<i>AUT(mv/g)</i>	0,093527

kalibrering



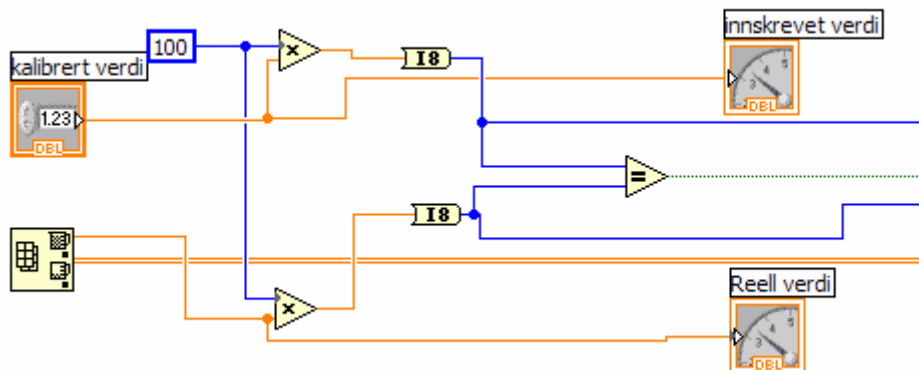
Referanse verdi: 98,638864E-3mv/g Kalibrert verdi: 93,527024E-3mv/g

Figur 38 Eksempel på rapportgenerering

3.6 Grunnlag for målemetode

3.6.1 Tidligere forsøk og hvorfor vi gikk bort fra dette

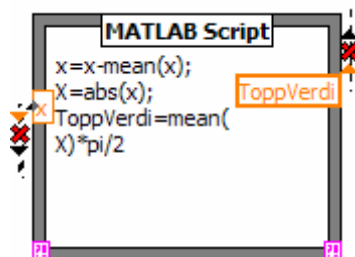
I begynnelsen så begynte vi med en array som ble oppdatert likt med den i eksempelet over. Her tok vi ut det største elementet i arrayen etter at vi hadde tatt inn en serie med målepunkter i fra DAQ kortet. Denne målemetoden var ekstremt følsom for støy da støypulser fort kunne lage en falsk maks verdi med flere volt i unøyaktighet.



Figur 39 Kalibrering ut fra toppverdi

Her bruker vi et subprogram som henter ut maks verdien av arrayen, og sammenligner denne med kalibrert innskrevet verdi. Dette ble feil med tanke på støy. Da vi kunne få støy spikre som gjorde at vi kunne få avvik på flere volt.

Neste steg ble ett Matlab program laget av Arne Wold som var ekstremt nøyaktig og viste eksakt toppverdien over en del målepunkter. Programmet var også veldig god på å luke ut støy da den tok absolutt verdien av en rekke målepunkter og deretter tok en middelværdi av dette.

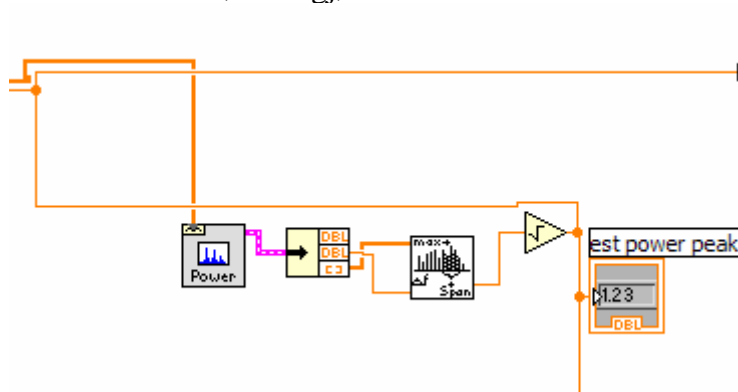


Figur 40 Matlab script

Denne Matlabnoden gjorde en kjempebra jobb, men dette var utenfor det som oppdragsgiver hadde satt som krav til spesifikasjoner for programmet. Programmet måtte lages i Labview kode.

Det denne noden gjør er å sette inn en verdi fra DAQ kortet og ta middelværdien av signalet for å fjerne eventuell DC, deretter tar den absolutt verdien til signalet og til slutt middelværdien av signalet inn. Dette blir da en gjennomsnitts middelværdi av hele signalet. Forholdet mellom middelværdien og toppverdien er $\pi/2$ så for å få frem toppverdien så ganger vi med $\pi/2$.

Over til Labview igjen, vi hadde tilgang til en pakke som heter sound and measurement som er lånt fra FFI. Denne pakken inneholder en kalibreringsmetode som tar FFT transformen av signalet og power spektrumet av dette. Denne metoden er veldig komplisert, men fungerer kjempebra. Den tar ut peakverdien av ett power spektrum som da er RMS verdien i andre og det eneste vi behøver å gjøre da er å kvadrere denne verdien så har vi en reell RMS verdi ut.



Figur 41 Kalibrering med peakverdi og powerspektrum

Det vi har her er en blokk som lager power spektrumet av signalet og deretter deler man den string clusteret vi får ut i størrelse og tiden i signalet dette blir. Deretter sjekker den signalet for peak verdier og igjen kvadrert for å få RMS verdien av signalet.

Dette krevde ganske nøyaktige samplefrekvenser for å hindre leakage i signalet.

Leakage er ett fenomen som man aldri helt blir kvitt når man tar fft transformen, men man kan få det til å bli helt ubetydelig ved å kjøre ett likt antall sampler som går opp i antall perioder vi får i signalet. Dette kunne vi også løse ved å bruke en vindus funksjon som vist i Figur 28 Uten Leakage feil og Figur 29 Leakage feil

3.7 Referanse program

Dette programmet er laget med NI sitt kalibreringsprogram, pluss en fast referanseshaker som har vibrasjoner på akkurat 1 g ved 159,2Hz. Dette programmet er laget for å ha en god referanse for målingene våre. Og uten en god referanse har vi heller ikke noen forutsetninger for å lage gode test resultater.

Referanse programmet er laget ved hjelp av PCB sin håndholdte shaker, denne shakeren er veldig nøyaktig. Det er skru gjenger på toppen slik at vi kan skru fast akselerasjonssensoren for test. Dette gjør at vi kan sjekke om verdiene stemmer i forhold til det som er oppgitt fra forrige kalibreringer.



Figur 42 Modell 394C09 fra PCB

Programmene som vi brukte til dette var begge de programmene som er forklart i tekst over. Vi tok begge programmene for å teste hvilke av programmene som var nærmest sannheten. Vi brukte også et Fluke 45 dual display multimeter for å sjekke sann RMS verdi fra sensorene, for å få en referanse verdi ut. Fluke multimeteret er ett ganske kostbart og nøyaktig meter.

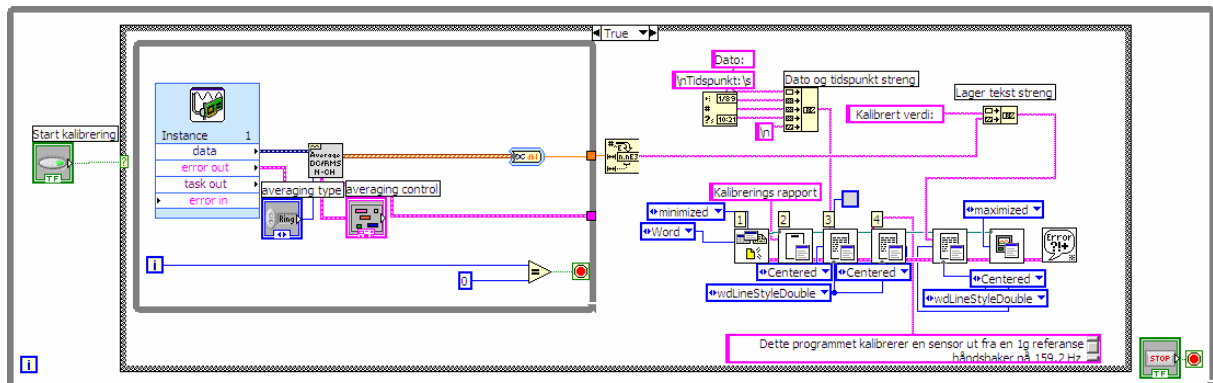


Figur 43 Fluke 45

De måleresultatene vi fikk er forklart under og de programmene vi brukte var forenklete versjoner av forestående program. Programmet under tar bare inn en RMS verdi og lagrer denne i et Word dokument for å videre vurdering av resultatene etterpå.

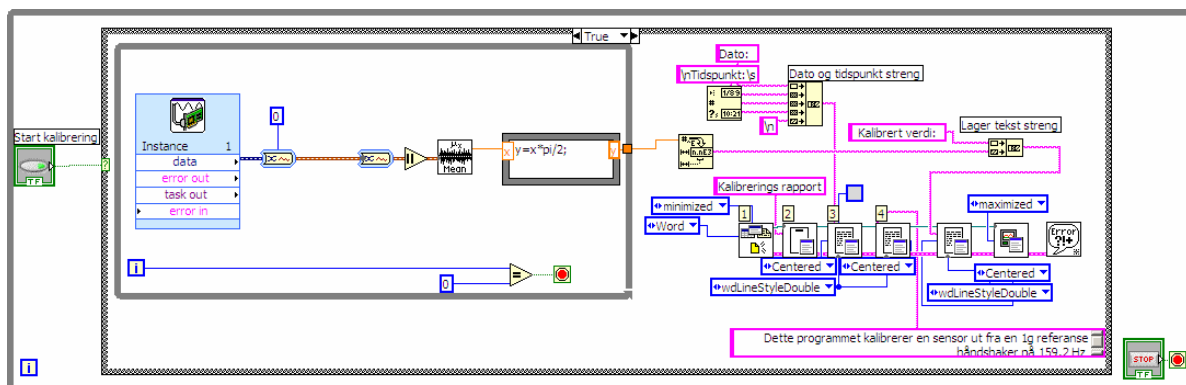
3.7.1 Programmene

Basert på averaged DC rms verdi:



Figur 44 Averaged DC rms

Basert på absolutt middelveiden av 100 perioder.



Figur 45 Basert på middelveidi

På absolutt middelveiden av 100 perioder fikk vi disse måleresultatene med sensoren som har en sensitivitet på 10,08. Med Fluke 45 så målte vi akkurat 10.08 mv/g på denne sensoren. Og i programmet så kom disse rapportene frem.

3.7.2 Testresultater fra referanseprogrammene

Kalibrerings rapport

Dato: 13.05.2005

Tidspunkt: 13:45

Dette programmet kalibrerer en sensor ut fra en 1g referanse håndshaker på 159,2 Hz

Kalibrert verdi: 10,063842E-3

Figur 46 Kalibrering av sensor på 10.08mv/g med bruk av middel verdi og 100 sinusperioder

Med 100 perioder blokken som plukker ut akkurat 100 sinusperioder av signalet og fjerner fase og aliasing feil.

Kalibrerings rapport

Dato: 13.05.2005

Tidspunkt: 13:41

Dette programmet kalibrerer en sensor ut fra en 1g referanse håndshaker på 159,2 Hz

Kalibrert verdi: 10,131099E-3

Figur 47 Kalibrering av sensor på 10.08mv/g med bruk av middel verdi og uten 100 sinusperioder

Denne ble kjørt uten 100 perioder, da kan vi risikere litt feil i fase gangen og leakage kan bli ett problem. Vi ser også at resultatene er litt for høye i forhold til det vi skulle ønske oss.

Average DC-rms program

Med det andre programmet vi brukte fikk vi litt andre verdier. Vi målte igjen på Fluken for å konstatere at vi fremdeles hadde 10.08 mv/g i sensitivitet på sensoren.

Kalibrerings rapport

Dato: 13.05.2005

Tidspunkt: 13:17

Dette programmet kalibrerer en sensor ut fra en 1g referanse håndshaker på 159,2 Hz

Kalibrert verdi: 10,075795E-3

Figur 48 Kalibrering med 10.08mV/g uten bruk av vindu

Denne er uten vindu og en sensitivitet på 10,08 mv/g og vi fikk dette som resultat med bare en gjennomsnitts verdi av RMS verdien.

Kalibrerings rapport

Dato: 13.05.2005

Tidspunkt: 13:15 s/n26768

Dette programmet kalibrerer en sensor ut fra en 1g referanse håndshaker på 159,2 Hz

Kalibrert verdi: 10,083971E-3

Figur 49 Kalibrering med 10.08mV/g med bruk av averaged rms og low side lobe vindu

Dette er med en sensor på 10.08mv/g og med averaged RMS med low sidelobe vindu.

Kalibrerings rapport

Dato: 13.05.2005

Tidspunkt: 13:17

Dette programmet kalibrerer en sensor ut fra en 1g referanse håndshaker på 159,2 Hz

Kalibrert verdi: 10,080690E-3

Figur 50 Kalibrering med 10.08mV/g med bruk av hanning vindu og averaged RMS

Denne er med hanning vindu og averaged RMS med en sensor med kalibrert verdi på 10.08 mv/g, resultatene er gjentakene gode på 10.08mV/g med hanning vindu. Men litt mer flytende verdier uten vindu.

Med disse resultatene ser vi ganske tydelig at programmet med hanningen vindu er det vi burde bruke på referanseoppsettet Etter formelen som PCB bruker skal ett program som bruker averaged rms verdi og hanning vindu være det beste å bruke for å oppnå riktig resultat av målingene våre.

3.7.3 Referanserapport av resterende sensorer

Kalibrerings rapport

Dato: 13.05.2005

Tidspunkt: 20:59

Dette programmet kalibrerer en sensor ut fra en 1g referanse håndshaker på 159,2 Hz

Kalibrert verdi: 9,761966E-3

Figur 51 Kalibrering med 9.77mV/g med bruk av hanning vindu og averaged RMS

9,77mV/g sensoren kalibrert på 1 g med average rms verdi og hanning vindu. Man ser at den kalibrert er veldig nærme 9.77mV/g

Kalibrerings rapport

Dato: 13.05.2005

Tidspunkt: 21:07

Dette programmet kalibrerer en sensor ut fra en 1g referanse håndshaker på 159,2 Hz

Kalibrert verdi: 10,268357E-3

Figur 52 Kalibrering med 9.86mV/g med bruk av hanning vindu og averaged RMS

Dette er 9,86mV/g sensoren med hanning vindu og average RMS, som vi ser ut fra 9,86mV/g sensoren så har vi ett ganske stort måleavvik. Dette kan skyldes at det er en stund siden sensoren er blitt kalibrert, man kan legge til at vi får samme måleverdier med både Fluke 45 og ved hjelp av de to programmene vi har laget.

3.8 PCB sitt oppsett

Dette baserer seg bare på å bruke forholdstallet mellom en kjent sensor og en ukjent sensor sin sensitivitet. Dette forholdstallet samles inn med en fast amplitude ut til forsterkeren og deretter ganges forholdstallet inn med den sensoren vi vet sensitiviteten på. Svaret fra dette blir den ukjente sensoren sin sensitivitet siden forholdstallet er likt på 10 mv og på 100 mv. Dette programmet blir enklere å kjøre og bruker ikke så mye utregninger på å justere inn amplituden til akkurat 10g.

Dette blir utregnet fra formelen

$St = Sr(Vt/Vr)$ der:

St= Sensitiviteten til test akselerometer

Sr= Sensitiviteten til referanse akselerometer

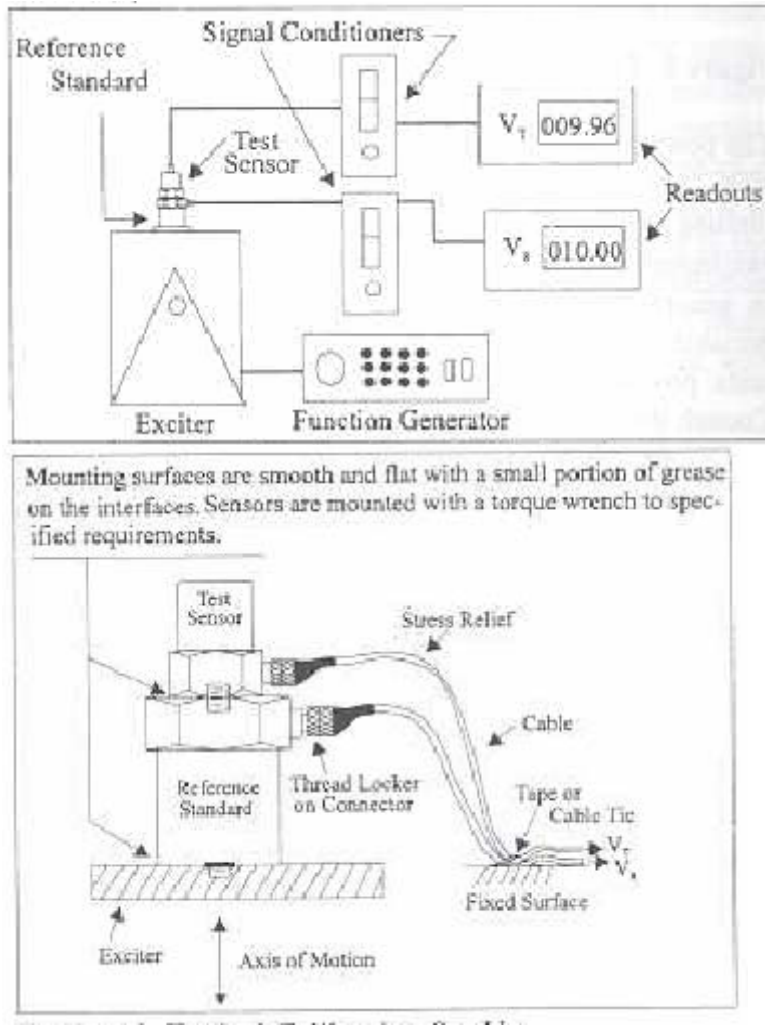
Vt= Spenning fra test akselerometer

Vr= Spenning fra referanse akselerometer.

Vi vil alltid ha litt avvik fra den reelle verdien vår fordi vi ikke har nøyaktig nok måleinstrumenter, da PCB og andre store firmaer bruker referanse akselerometeret for å kalibrere sensorene sine. Disse sensorene er meget nøyaktige og har festeanordninger i både bunn og topp.

Dette gjør det ganske lett å få riktige målinger siden test sensoren blir skrudd fast på toppen av referanse sensoren. Som neste figur viser.

Figurene viser et typisk oppsett av ett målesystem slik som PCB gjør kalibreringen ved sin lab.



Figur 53 Måleoppsett fra PCB

Her har du oppsettet av ett typisk måleoppsett med en spesiell sensor som blir kalt for en referansesensor. Disse er veldig nøyaktig og kan karakteriseres som ett perfekt akselerometer. I og med at vi monterer test akselerometeret på toppen så får vi akkurat det samme påtrykket på begge sensorer. Dette er ett anbefalt oppsett for FFI hvis de ønsker å ha en veldig nøyaktig kalibreringsstasjon. Men vi vil sterkt anbefale FFI å kjøpe inn et referanse akselerometer med gjenger på toppen.

4 Kalibreringsrapporter

Vi har brukt hovedprogram når vi har utført testene som følger. Fullstendig dokumentasjon av programmet er gjengitt i vedlegg under **F Dokumentasjon av Labviewkode**

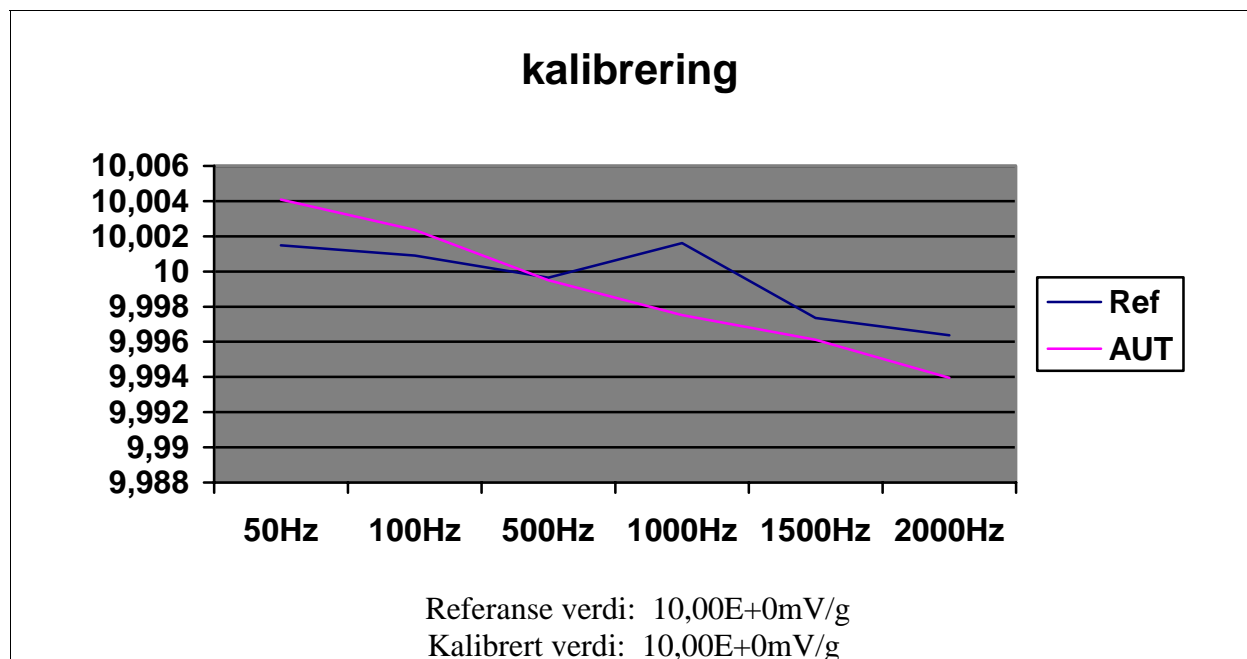
4.1 Kortslutning inngang til utgang

Kalibreringsrapport for akselerasjonssensorer

Dato: 18.05.2005
Tidspunkt: 01:11

Dette programmet kalibrerer en sensor ut fra en referanse sensor.
AUT=Akselerometer under test
Ref=Referanse sensor

	50Hz	100Hz	500Hz	1000Hz	1500Hz	2000Hz
AUT(mv/g)	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Ref(mv/g)	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,99



AUT serie nummer: Kortslutning inngang til utgang

Figur 54 Kalibreringsrapport

4.2 Kalibreringsrapport for akselerasjonssensorer REF 9.77, AUT10.08

I Kalibreringsrapport for akselerasjonssensorer

Dato: 18.05.2005

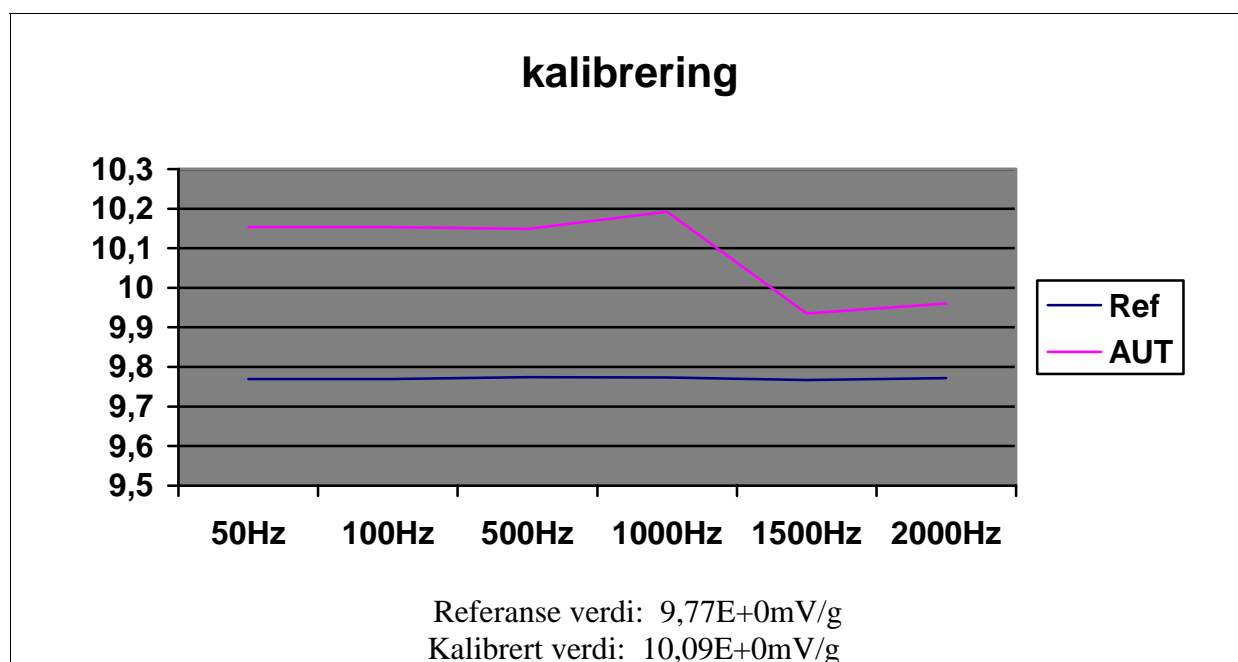
Tidspunkt: 00:56

Dette programmet kalibrerer en sensor ut fra en referanse sensor.

AUT=Akselerometer under test

Ref=Referanse sensor

	50Hz	100Hz	500Hz	1000Hz	1500Hz	2000Hz
Ref(mv/g)	9,77	9,77	9,77	9,77	9,77	9,77
AUT(mv/g)	10,15	10,15	10,15	10,19	9,94	9,96



AUT serie nummer: 26768

Figur 55 Kalibreringsrapport

4.3 Kalibreringsrapport for akselerasjonssensorer REF 9.77, AUT10.08

Kalibreringsrapport for akselerasjonssensorer

Dato: 18.05.2005

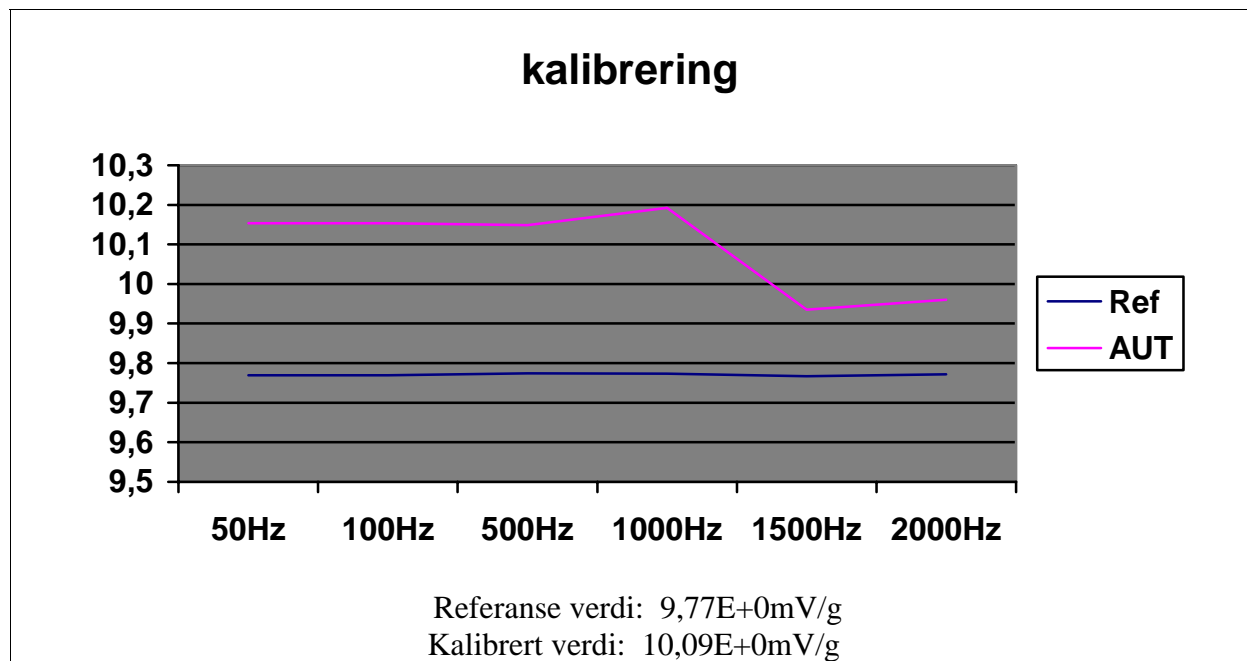
Tidspunkt: 00:56

Dette programmet kalibrerer en sensor ut fra en referanse sensor.

AUT=Akselerometer under test

Ref=Referanse sensor

	50Hz	100Hz	500Hz	1000Hz	1500Hz	2000Hz
Ref(mv/g)	9,77	9,77	9,77	9,77	9,77	9,77
AUT(mv/g)	10,15	10,15	10,15	10,19	9,94	9,96



AUT serie nummer: 26768

Figur 56 Kalibreringsrapport

4.4 Kalibreringsrapport for akselerasjonssensorer 10.08ref, 9.86aut

Kalibreringsrapport for akselerasjonssensorer

Dato: 18.05.2005

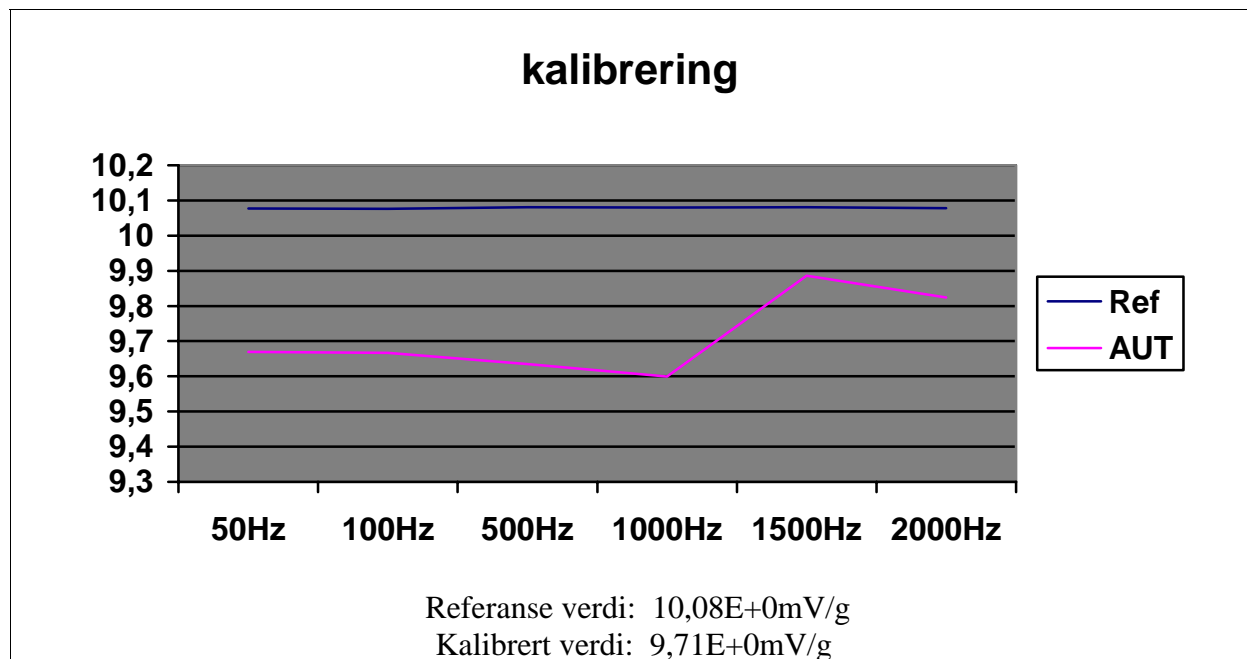
Tidspunkt: 01:07

Dette programmet kalibrerer en sensor ut fra en referanse sensor.

AUT=Akselerometer under test

Ref=Referanse sensor

	50Hz	100Hz	500Hz	1000Hz	1500Hz	2000Hz
Ref(mv/g)	10,08	10,08	10,08	10,08	10,08	10,08
AUT(mv/g)	9,67	9,67	9,64	9,60	9,89	9,82



AUT serie nummer: 46918

Figur 57 Kalibreringsrapport

4.5 Konklusjon av testresultater

Som vi ser av målingene våre så har vi et lite avvik på hver sensor, men når vi kortslutter inngang til utgang så får vi nøyaktige resultater med bare noen promille feil i forhold på inngangene. Dette gjør at vi kan utelukke fasefeil og at vi kan utelukke feil med antall samplinger og for liten frekvens på samplingen.

Det vi da må vurdere er forsterkeren, festeanordning, shaker og sensorene.

Forsterkeren, Rockford Punch 120a2:

Denne fungerer bra oppover helt til 20 kHz og i å med at vi bruker en vindusfunksjon på inngangen vil ikke støy på denne ha noe å si for resultatene våre.

Festeanordning:

Festeanordningen er en skrutilkobling som bruker sensorenes egne skrufester for å sette disse fast, dette kan være en mulig feilkilde fordi sensorene kan få forskjellige påtrykk da de ikke står på det samme punktet på shakeren.

Shakeren:

Shakeren har blitt brukt mye og det er på tide at denne får vedlikehold, vi har en ulyd nedover i frekvensområdet og dette kan være med på å skape enda mer problemer.

Sensorene:

Sensorene har en avviks prosent på ca $\pm 5\%$ fra en lineær skala. Dette gjør at disse ikke er 100% ideelle å bruke som kalibrerings sensorer. Maks feil kan da bli $\pm 10\%$ hvis vi er uheldige.

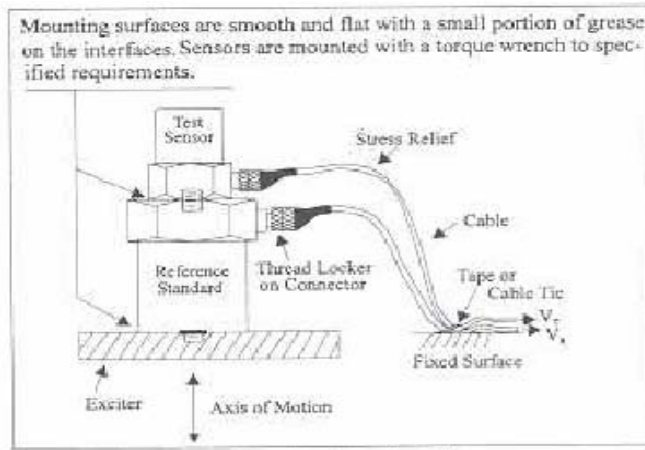
Lineariteten blir også dårligere oppover i frekvensområdet.

En kombinasjon av feilkildene kan gjøre at vi får store avvik på resultatene våre. Som vist med referanse håndholdte shakeren fra PCB, så fungerer programmet vårt bra hvis vi har en pålitelig kilde.

Anbefaling:

Vi vil anbefale FFI å kjøpe inn et referanse akselerometer fra PCB som skal brukes til kalibrerings formål. Dette referanse akselerometeret er mye mer nøyaktig enn vanlige sensorer og har skrue fester på toppen for festing av akselerometer under test. Dette gjør at mange feilkilder forsvinner. Da blir feil i mekaniske fester borte, vi får også akkurat det samme påtrykket i og med at sensoren som er under test bare er forflytt i vertikal retning og dette har ingenting å si for akselerasjonen. Figuren under viser et sånn oppsett.

Vi vil videre anbefale å skifte ut eller få vedlikehold på shakeren da denne begynner å bli slitt og kan være en stor feilkilde.



Figur 58 Oppsett for kalibrering

5 Konklusjon

5.1 Konklusjon, valg av DAQ kort

Det kortet som vi har i dag er i utgangspunktet bra og med gode spesifikasjoner. Nåværende kort har veldig mange innganger og ettersom vi bare bruker to av dem blir det masse overflødige innganger til overs. Ut fra dette kunne vi valgt et kort som har færre innganger, men ettersom inngangene ikke har noen innvirkning på utstyret vi bruker, vil ikke dette være noe grunnlag for å bytte kort. Når det gjelder samplingsraten på kortet vi har i dag holder det i massevis, både på inngang og utgang. Dvs. vi kunne klart oss egentlig med et kort med lavere samplingshastighet, f.eks. et kort med rundt 600kS/s. Men å bytte til ett kort med dårligere spesifikasjoner enn det vi har i dag sier seg selv å være bortkastet. Vi bestemmer selv hvilken samplingshastighet vi ønsker å benytte både på utgangen og inngangene. Når det gjelder oppløsningen kunne det vært en fordel med 16 bits kort istedenfor 12 bits. Men som nevnt og bevist er det ingen stor forskjell på oppbygning av sinusen på utgangen, og ved målingene på inngangene. Det holder med et kort som har 12 bits oppløsning ved vårt bruksområde.

Ut fra disse faktorene kan vi konkludere med at det kortet vi har i dag er bra nok for vårt formål. Nåværende kort oppfylder kravene på alle punktene som er gitt og dermed vil det være ulønnsomt å investere i ett nytt kort. Men hvis utgangspunktet var at vi ikke hadde noen DAQ kort ville vi nok valgt NI6251 fra M-serien fremfor NI6071E fra E-serien.

5.2 Konklusjon, forsterkere og BNC blokk

Man bør få tak i forsterkerne som er anbefalt fra Brüel og Kjær, Type 2718 eller Type 2706. Pga dette er forsterkere som er laget for formålet og har de spesifikasjonene som kreves. Forsterkeren fra LDS er ikke å anbefale pga. denne forsterkeren støyer for mye og at den er altfor kraftig og stor til bruken. BNC blokken BNC 2090 kan vi beholde, og den vil også passe sammen med kort fra M serien ved bytte av kabel.

5.3 Konklusjon, shakere

Den shakeren vi har i dag virker ikke helt optimal pga av slitasje og den bør levers til Brüel & Kjer for vurdering. Hvis en reparasjon er mulig og lønnsomt vil nok det anbefales, men en anskaffelse av Type 4810 bør også vurderes. Pga denne er langt rimeligere enn Type 4809 og vil gjøre kalibreringen på tilsvarende måte som Type 4809. Man kan også bruke samme forsterker på 4810 som 4809. Type 4808 vil nok ikke anbefales pga da denne ikke er mobil (35kg) og man må også anskaffe en ny forsterker som klarer å drive denne, som gir en ekstra kostnad.

5.4 Konklusjon av testresultater

Som vi ser av målingene våre så har vi et lite avvik på hver sensor, men når vi kortsletter inngang til utgang så får vi nøyaktige resultater med bare noen promille feil i forhold på inngangene. Dette gjør at vi kan utelukke fasefeil og at vi kan utelukke feil med antall samplinger og for liten frekvens på samlingen.

Det vi da må vurdere er forsterkeren, festeanordning, shaker og sensorene.

Forsterkeren, Rockford Punch 120a2:

Denne fungerer bra oppover helt til 20 kHz og i å med at vi bruker en vindusfunksjon på inngangen vil ikke støy på denne ha noe å si for resultatene våre.

Festeanordning:

Festeanordningen er en skrutilkobling som bruker sensorenes egne skrufester for å sette disse fast, dette kan være en mulig feilkilde fordi sensorene kan få forskjellige påtrykk da de ikke står på det samme punktet på shakeren.

Shakeren:

Shakeren har blitt brukt mye og det er på tide at denne får vedlikehold, vi har en ulyd nedover i frekvensområdet og dette kan være med på å skape enda mer problemer.

Sensorene:

Sensorene har en avviks prosent på ca $\pm 5\%$ fra en lineær skala. Dette gjør at disse ikke er 100% ideelle å bruke som kalibrerings sensorer. Maks feil kan da bli 10% hvis vi er uheldige. Lineariteten blir også dårligere oppover i frekvensområdet.

En kombinasjon av feilkildene kan gjøre at vi får store avvik på resultatene våre. Som vist med referanse håndholdte shakeren fra PCB, så fungerer programmet vårt bra hvis vi har en pålitelig kilde.

Anbefaling:

Vi vil anbefale FFI å kjøpe inn ett referanse akselerometer fra PCB som skal brukes til kalibrerings formål. Dette referanse akselerometeret er mye mer nøyaktig enn vanlige sensorer og har skrue fester på toppen for festing av akselerometer under test. Dette gjør at mange feilkilder forsvinner. Da blir feil i mekaniske fester borte, vi får også akkurat det samme påtrykket i og med at sensoren som er under test bare er forflytt i vertikal retning og dette har ingenting å si for akselerasjonen. Figuren under viser et sånt oppsett.

Vi vil videre anbefale å skifte ut eller få vedlikehold på shakeren da denne begynner å bli slitt og kan være en stor feilkilde.

5.5 Gruppens erfaringer med prosjektet

Vi synes oppgaven var interessant og veldig lærerik. Dette synes vi på grunn av at vi måtte sette oss ned og lære oss ting fra grunn av. Ingen av gruppe medlemmene hadde brukt labview kode før vi begynte med dette prosjektet. Mye av utstyret rundt labview hadde vi heller ikke erfaring med og vi måtte sette oss ned å finne ut informasjon om utstyret. Dette var en stor utfordring og veldig lærerikt.

Kim Espen Nyhus

Gjøvik 19.mai 2005

Erling Bjerke



6.0 Litteraturliste

National Instrument www.ni.com

Brüel & Kjær www.bksv.com

PCB piezoelectronics www.pcb.com

Elfa www.elfa.se

Digital Signalbehandling av Arne Wold

Kompendium i elektronikk konstruksjon av Håkon Solum

Rockford Fosgate www.rockfordfosgate.com

Learning with labview 7 express av Robert H. Bishop



7.0 Vedlegg