

Laboratorieøvelse # 4

Build a scale

Dato: 9/05/2019

Gruppe 21

#1

Stud.nr.: 201404212 Navn: Rasmus Vesterheim

#2

Stud.nr.: 201710712 Navn: Marcus Bech

#3

Stud.nr.: 201710685 Navn: Martin Krøjmand

Indholdsfortegnelse

Indledning	2
Experiment 1: Implementer en digital vægt	3
Indledning	3
Opstilling	4
Experiment 2: Non-linearitet og sensitivitet	4
Experiment 3: Præcision	7
Experiment 4: Sensitiv overfor forstyrrelser	8
Konklusion	11

Indledning

I denne lab-øvelse skal vi ud fra en af de vægte fra laboratoriet få udskrevet vægten via PSoC og PCB print med instrumentations forstærker. Der skal hertil laves målinger for at validere, hvorvidt vægten er lineær, præcis og følsom overfor forstyrrelser. For at dette kan gøres, skal der arbejdes med A/D konvertering i PSOC, fordi vi har en vægt som skal omsætte en specifik modstand, der varierer på basis af tryk, til en digital værdi, som vi kan se i terminalen på computeren. Derfor skal vi i vores program lave noget behandling af den data som "load cell" (vægten) giver os, når vi måler.

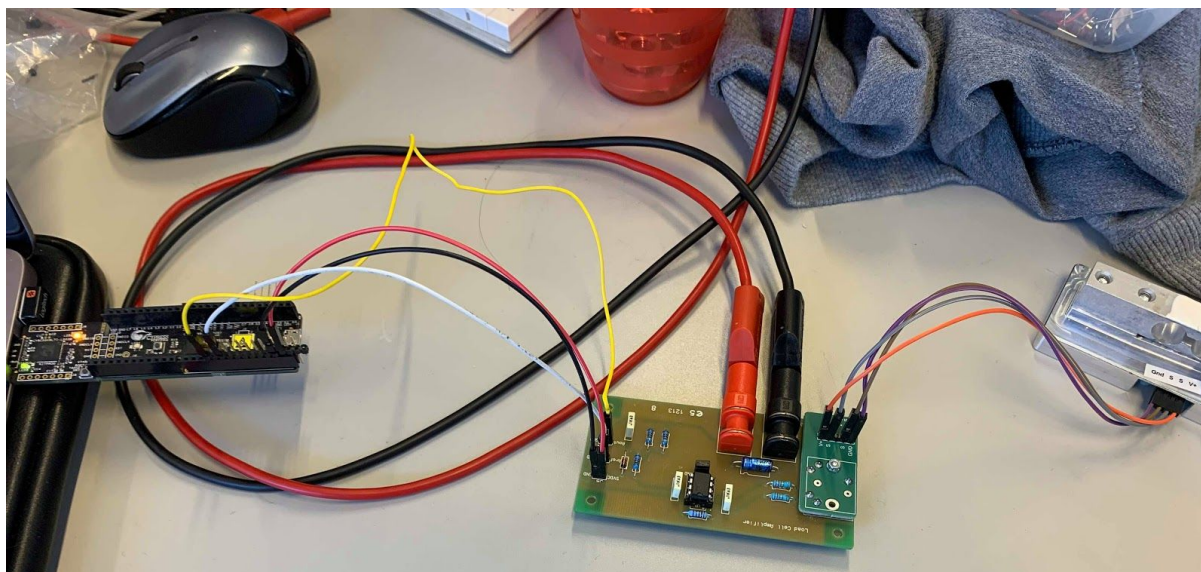
Experiment 1: Implementer en digital vægt

Indledning

Vi har fået udleveret starten på et PSoC projekt og bygget videre på det. Her skal vi sammen med PCB printet og 1 kg vægten kunne finde frem til en sammenhæng, så der kan udskrives en vægt i terminalen.

Opstilling

For at udføre målingerne har vi opstillet og tilsluttet PSoC, print og load cell. "Load cell" har 2 Signal "s" forbindelser, gnd og vcc der er tilsluttet printet. Printet har en tilslutning på 5v fra en strømforsyning. Herefter er tilslutningerne til PSoC så output fra S signalerne og en referencespænding fra printet af.



Billede 1 - Testopstilling med PSoC, print og Load-cell.

Implementering

Vi har taget udgangspunkt i det PSoC projekt, der er lagt op på GFV blackboard, hvor SAR ADC komponenten er sat ind og implementeret. Der er lavet om i koden, så der udskrives et decimal tal ud fra ADC'en. Main ser således ud:

```
for(;;)
{
    /* Place your application code here. */
    if (ADC_SAR_1_IsEndConversion(ADC_SAR_1_WAIT_FOR_RESULT))
    {
        int result = ADC_SAR_1_GetResult16();
        snprintf(uartBuffer, sizeof(uartBuffer), "%d \r\n", result);
        //double gram = (result-2152.6788)/(-0.3752);
        //if(gram<0) {gram=0;}
        //snprintf(uartBuffer, sizeof(uartBuffer), "%lf \r\n", gram);
        UART_1_PutString(uartBuffer);
    }
    CyDelay(100);
}
```

Billede 2 - main kode for ADC project, hvor ADC output udskrives i decimal

Som det ses ventes der 100 ms, og at ADC'en er færdig med at konvertere, da det også har en performance tid i form af delay på comparatoreren og de logiske komponenter i SAR ADC. Det skrives som sædvanlig ud på UART'en, så det kan læses fra terminalen. Dette var for at få ADC værdien ud. Der er også lavet, hvor det er muligt at få vægten i gram ud. Det er gjort ved at tage formlen for tendenslinjen, der ses under "Udførelse" i Eksperiment 2 kapitlet ($f(x) = -0.3752x + 2152.6788$).

Ved at lave simpel isolering af x kan variablen gram skrives ud baseret på ADC output. Hvis gram er mindre end 0 sættes gram til 0, da negativ vægt giver ingen mening.

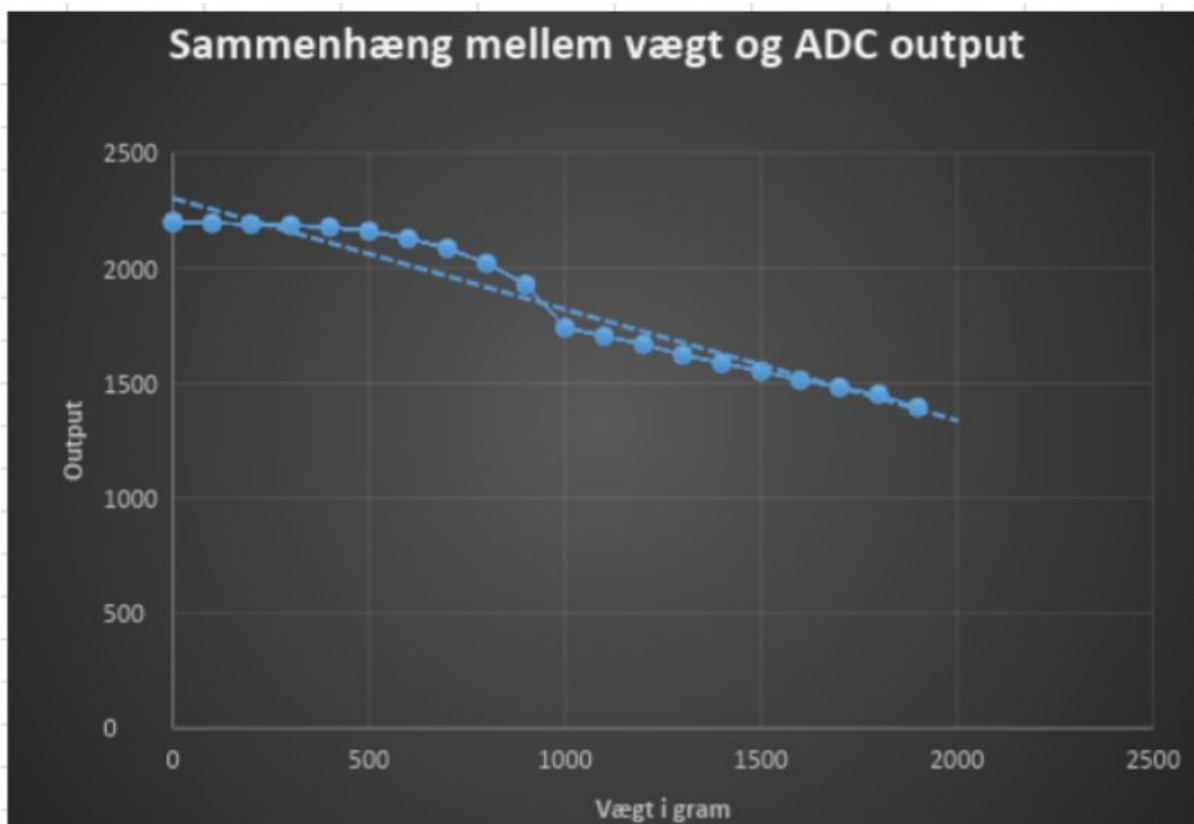
Der ses den anden main kode.

```
for(;;)
{
    /* Place your application code here. */
    if (ADC_SAR_1_IsEndConversion(ADC_SAR_1_WAIT_FOR_RESULT))
    {
        int result = ADC_SAR_1_GetResult16();
        //snprintf(uartBuffer, sizeof(uartBuffer), "%d \r\n", result);
        double gram = (result-2152.6788)/(-0.3752);
        if(gram<0) {gram=0;}
        snprintf(uartBuffer, sizeof(uartBuffer), "%lf g \r\n", gram);
        UART_1_PutString(uartBuffer);
    }
    CyDelay(100);
}
```

Billede 3 - main kode for ADC project, hvor vægten udskrives i gram

Udførelse

Vi har en 1 kg vægt, som vi har brugt til at måle op til 2 kg. Her har vi målt i steps af 100 gram. Disse tal for hver måling har vi udskrevet i et tekstdokument. Så tager vi gennemsnittet af alle tallene og sætter det som værdi for den pågældende vægt. Derefter plottes tallene på en kurve, og her ses det, at værdierne begynder at være lineære, når vægten er over 1 kg. Som det kan ses i figuren, så er ændringen i vægten meget lille ved de første 500 g. Vægtens offset kan derfor siges at være 500 g, men den er først rigtig lineær ved 1 kg, så der er her, vi gerne vil have vores nulpunkt.



Billede 4 - Kurve af alle målepunkter, hvor en tendenslinje er indtegnet. Det er genereret i Excel.

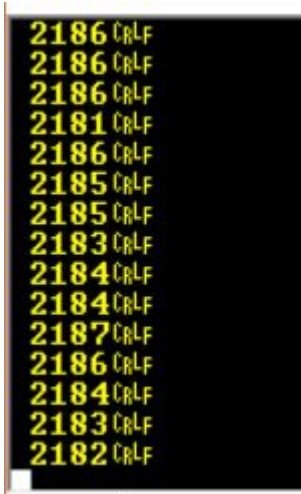
Vores vægt var noget anderledes end de andre vægte idet, at output spændingen ved 0 kg var maks. Jo mere vægt man lagde på, desto lavere blev spændingen. Derfor kan der ikke siges at være et offset i denne sammenhæng, når udgangspunktet er maks spændingen. Vores eksterne reference var på 2,5 V, som vi har sat vores ADC til. Det vil sige, at vi fik omtrent 2,5 V eller 2048 fra vores ADC. Vores SAR ADC har en opløsning på 12 bit. ADC'en må altså have målt med en reference på 5 V, selvom vi har sat en ekstern reference på 2,5 V. Det har ikke nogen indflydelse på dette eksperiment, da vi bare skal se udviklingen af de ændrede værdier af ADC'en på baggrund af forskellige vægte på vægtsensoren.

Da vores vægt ikke er lineær i området 0-1 kg har vi valgt at sætte vores nulpunkt ved 1kg.

Vi har derfor valgt at lave en ret linje (tendenslinje) på alle vores målinger i intervallet 1-2 kg, som vi har brugt i koden for at omdanne udskriften i terminalen til at skrive vægt i kg i stedet for output af ADC'en. Det præciseres i næste eksperiment.

Resultater

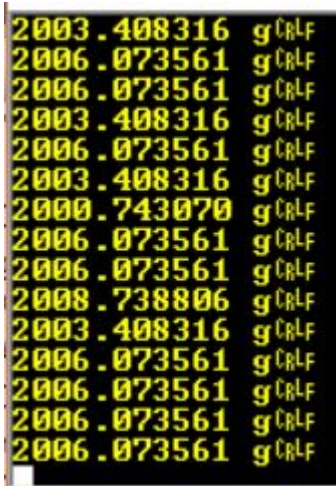
Der ses her, hvad der er skrevet ud i terminalen, når der måles med outputtet fra ADC'en. Herunder ses, hvad der f.eks. skrives ud ved en vægt på 400 gram.



```
2186 CRLF
2186 CRLF
2186 CRLF
2181 CRLF
2186 CRLF
2185 CRLF
2185 CRLF
2183 CRLF
2184 CRLF
2184 CRLF
2187 CRLF
2186 CRLF
2184 CRLF
2183 CRLF
2182 CRLF
```

Billede 5 - Resultatet skrives ud i terminalen med ADC output

Der er også en udskrift, hvor vægten er skrevet ud i gram (udtrykt ved g). Det ses herunder:



```
2003.408316 g CRLF
2006.073561 g CRLF
2006.073561 g CRLF
2003.408316 g CRLF
2006.073561 g CRLF
2003.408316 g CRLF
2000.743070 g CRLF
2006.073561 g CRLF
2006.073561 g CRLF
2008.738806 g CRLF
2003.408316 g CRLF
2006.073561 g CRLF
2006.073561 g CRLF
2006.073561 g CRLF
2006.073561 g CRLF
```

Billede 6 - Resultatet skrives ud i terminalen med vægten i gram

Som det ses bliver 2 gange 1 kg lod skrevet ud som cirka 2000 gram, som også er korrekt.

Experiment 2: Non-linearitet og sensitivitet

Indledning

I dette eksperiment skal lineariteten og følsomheden af vægten afgøres.

Ved at tage 10 forskellige målinger med 10 forskellige afmålte vægte med samme interval imellem, kan man finde lineariteten. De 10 målinger kan sættes i et diagram i Excel, og tendenslinjen i Excel kan afsløre, hvor lineær den er. Herefter findes den største lodrette afstand væk fra tendenslinjen. Det beskriver lineariteten af vægten.

Herudover ses sensitiviteten (følsomheden) til at være hældningen på tendenslinjen.

Vi havde som udgangspunkt besluttet at lave målinger for hver 100 g i intervallet 0-1 kg, men vi opdagede hurtigt, at vores vægt ikke opførte sig lineært her, og vi tilføjede derfor flere målinger, så vi endte med at have målt fra 0-2 kg i hop af 100g.

Vi overvejede at lave flere målinger ved i området fra 0 til 1 kg, da vi forventede en god linearitet i dette område, men dette var imidlertid ikke tilfældet.

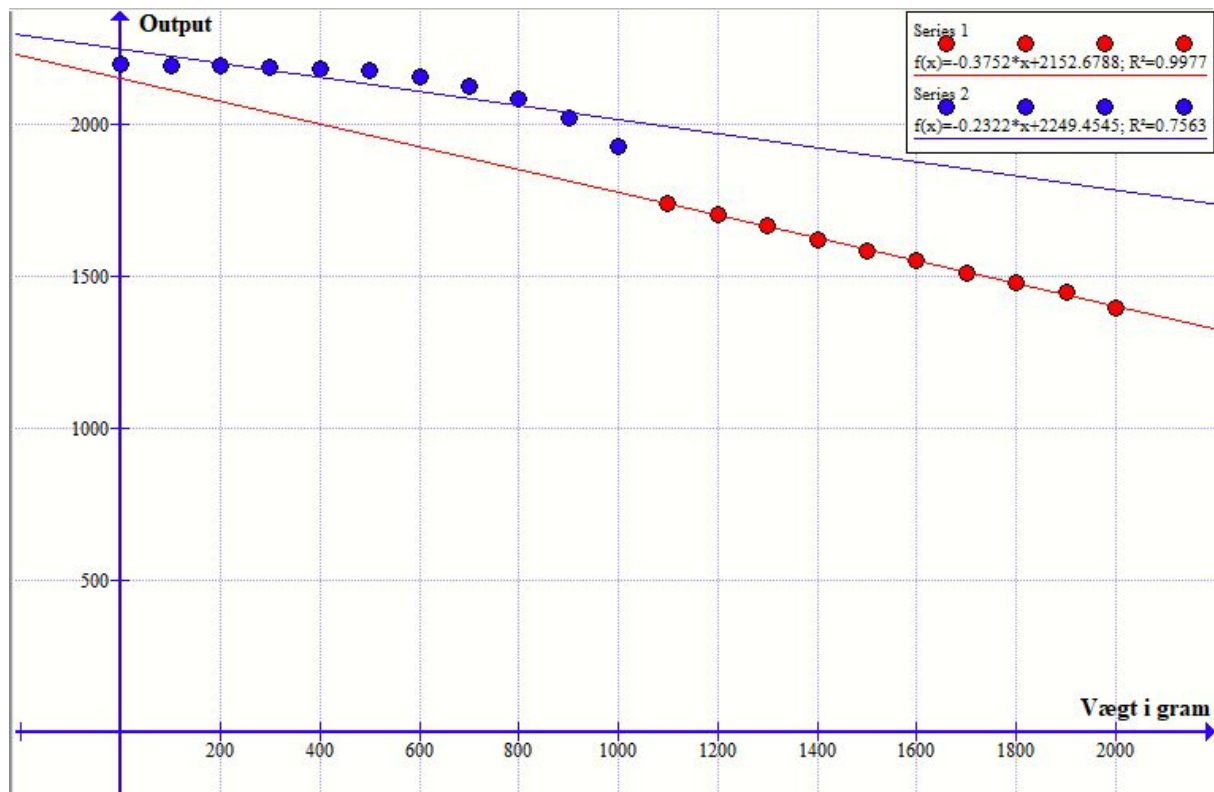
Udførelse

Til at bestemme lineariteten helt nøjagtigt blev vores målepunkter sat ind i et program Graph. Her kunne vi se ligesom i Excel-arket se, at det lineære område var fra 1 kg til 2 kg. Der blev ikke målt længere op end 2 kg, så det kan ikke verificeres, at lineariteten holdt ved en større vægt end 2 kg.

Følsomheden kan findes meget nemt ved at se på tendenslinjens hældning på den røde linje. Funktionen for tendenslinjen er: $f(x) = -0.3752x + 2152.6788$.

x er antal gram i vægt og f(x) er ADC output.

Her er hældningskoefficienten -0.3752. y er her outputtet fra ADC'en og x er vægten i gram. Det kan altså siges, at ADC'en går ca. 1 op for hver 3. gram, der lægges på vægten. Som følge af ADC'ens bit-opløsning på 12 bit, så kan denne vægt ikke være fintfølede i enkelte gram.



Billede 7 - Tendenslinje for det lineære område er indtegnet med den røde linje. Funktionen for tendenslinjen ses i hjørnet "Serie 1"

For at bestemme, hvor lineær området fra 1 kg til 2 kg er, så beregnes den største vertikale længde fra målepunkt til tendenslinjen.

$$\text{abs}(f(1600) - y_{1600}) = 1.359$$

$$\text{abs}(f(1700) - y_{1700}) = 1.839$$

$$\text{abs}(f(1800) - y_{1800}) = 3.681$$

$$\text{abs}(f(1900) - y_{1900}) = 11.201$$

$$\text{abs}(f(2000) - y_{2000}) = 8.279$$

Billede 8 - Beregning af den vertikale afstand mellem målepunkt og tendenslinje

I Mathcad er det blevet beregnet ved at tage x-værdien for målepunkterne ind i funktionen for tendenslinjen. Dette trækkes fra den faktiske y-værdi for målepunktet. Den numeriske forskel beregnes. Det ses her, at det punkt, der ligger længst væk fra tendenslinjen på den vertikale akse er målepunktet med x-værdien på 1900 g. Tallet for lineariteten af denne vægt er derfor på 11,2 fra ADC output.



Billede 9 - Vægt med 1 kg lod.

Experiment 3: Præcision

Der skal specificeres præcisionen af vægten ved at måle på, hvor lang væk vægten er fra at ramme den rigtige vægt. Det vil sige, at der skal siges, hvilket interval den påsatte vægt er på med en sikkerhed på 95 %. Det er opgjort i \pm x antal gram.

Eftersom afvigelser er normalfordelte, ligesom mange stokastiske fænomener i naturen, så kan det siges, at man kan specificere en nøjagtighed med 95 % sikkerhed ved at angive, hvor meget 2 sigma dækker over i en normalfordelt klokke. En bredde på 2 sigma dækker nemlig ca. 95 % af hele arealet.

For at måle præcisionen, og derved konfidensen af vores vægt, har vi valgt at starte med at have vores vægt ved nulpunktet (som er 1 kg), hvorefter der placeres et 1 kg lod på vægten. Vi venter så 10 sekunder på, at outputtet er blevet nogenlunde stabilt. Dette gøres i alt ti gange, og vi kigger så på resultaterne.

Analyse

Den præcise fremgangsmetode for at finde præcisionen og derved konfidensområdet er først og fremmest at finde differencen mellem den faktiske måling og den korrekte værdi. Dette gøres for alle 10 målinger. Når afvigelsen er fundet, skal dette kvadreres for at finde den kvadrerede afvigelse. Så tages summen af alle kvadrerede afvigelser og divideres det med antal målinger minus 1. Altså 9. Så er variansen fundet.

Måling #	Måling fra scale	Måling fra køkkenvægt	afvigelser	kvadreret afvigelse
1	2014	1996	-18	324
2	2006	1996	-10	100
3	1992	1996	4	16
4	2008	1996	-12	144
5	2003	1996	-7	49
6	2016	1996	-20	400
7	1992	1996	4	16
8	2006	1996	-10	100
9	1955	1996	41	1681
10	1995	1996	1	1
			SUM:	2831
			Variansen	314,5555556

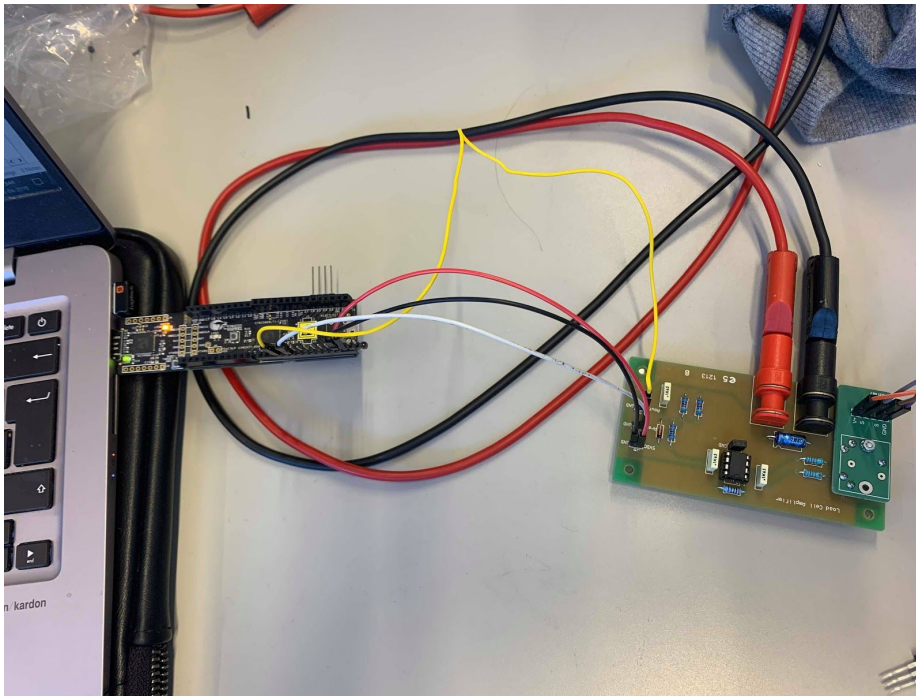
Billede 10 - Regneark, hvor afvigelse, kvadreret afvigelse og variansen findes.

1 sigma er kvadratroden af variansen. Eftersom vi ønsker at finde præcisionen med 95 % nøjagtighed, så ganges sigma med 2. 2 sigma dækker nemlig over ca. 95 % af arealet i en normalfordelt kurve.

1 sigma	17,73571413
2 sigma	34,58464255

Billede 11 - Konvertering fra sigma til konfidensintervallet i gram

Der kan altså med 95 % nøjagtighed siges, at vægten vil måle rigtigt indenfor et interval af +/- 35 gram.

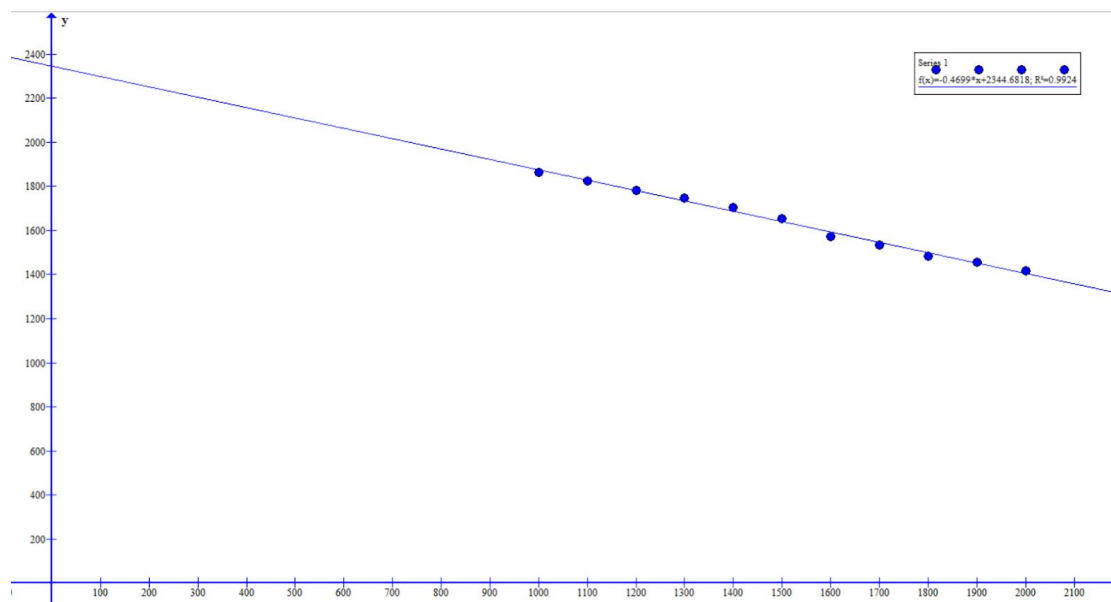


Billede 12 - Printets tilslutning til PSoC.

Experiment 4: Sensitiv overfor forstyrrelser

Sensitiviteten for forstyrrelser ses ved at vente noget tid efter måling af sensitivitet og 0-punkt. Hvis det er forskudt efter en time, så beskriver det sensorens sensitivitet for forstyrrelser. For at undgå dette kan man kalibrere vægten inden næste måling foretages. Så undgår man at få upræcise målinger, fordi at vægten har stået og driftet. Zero-drift og sensitivity-drift er altså noget, der kommer med tiden.

Vi har i slutningen af øvelsen testet vægten ved at sætte vægte, der stiger med 100 g for hver måling. Igen måler vi i området fra 1 kg til 2 kg, da det var det lineære område i sidste måling. Der er gået ca. 2 timer fra, at vi lavede den første måling til den anden. Eftersom det er meget den samme procedure vises nu en plotning og en tendenslinje for den nye måling.



Billede 13 - Målepunkter med tendenslinje for den anden måling efter drifting.

Der ses nu, at hældningen og nulpunktet har ændrets sig. Sensitiviteten er repræsenteret i form af hældningen på tendenslinjen. Nulpunktet er repræsenteret i form af b-værdien af tendenslinjen, da den giver udtryk for startværdien med en vægt på 0.

Vi kan nu sammenligne de 2 tendenslinjer og finde frem til zero-drift og sensitivity-drift. Det gøres ved at finde forskellen mellem de 2 tendenslinjers a-værdi og b-værdi.

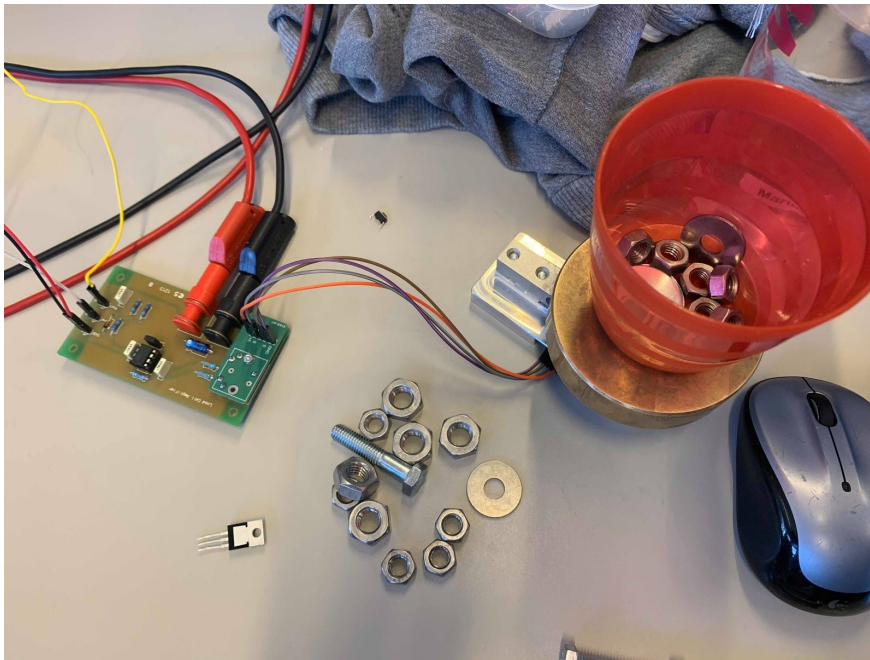
$$\text{abs}(a_2 - a_1) = 0.095$$

$$\text{abs}(b_2 - b_1) = 192.003$$

Billede 14 - Beregning af drifting

Det ses altså, at sensitivity drift er på knap 0,1 og zero-drift er på omtrent 200. Det mest udslagsgivende i dette tilfælde er zero-drift, der med den nye følsomhed for anden måling kan betyde en forskel i vægten på ca. 100 g. Det vil sige, at vægten altid vil måle 100 gram ved siden af alene på konsekvensen af zerodrift. Det er ikke særlig pålideligt, og der må altså kalibreres meget oftere end hver anden time for, at man kan bruge vægten i den virkelige verden. Der kan foreslås at kalibrere hver halve time for at få en tilfredsstillende lav zero-drift. Det kan kun nye målinger afgøre.

Herudover ses det, at sensitiviteten er rykket med 0,095. Det betyder omtrent, at der ved hver 47. gram, der lægges på vægten vil blive målt yderligere 1 gram forkert. Ved 94 gram vil der være målt 2 gram forkert totalt. Ved 141 gram vil der være målt 3 gram forkert totalt. Sådan fortsætter det videre opad, og det kan altså have en slem betydning for en meget stor vægt, der lægges på vægten. Det har altså den betydning, at der måles $1/47 = 2,1\%$ forkert. Det kan siges ikke være lige så slemt som zero-drift med vægte under 2 kg. Her betyder en måling, der er 100 gram forkert meget for ting, der ikke vejer så meget. Derimod vil en afvigelse på 2,1 gram for et 100 gram lod betyde knap så meget. Man skal altså måle en meget stor masse for, at afvigelsen fra sensitivity-drift overgår afvigelsen fra zero-drift.



Billede 15 - Testopstilling med forskellige vægte.

Konklusion

Måleudstyr kommer i mange former, og det, der kendetegner dem, er, at de aldrig er helt præcise. I den virkelige verden afhænger meget af denne præcision også sammen med, hvor dyrt måleudstyret er. Det kommer også til udtryk i denne billige vægt, vi har eksperimenteret med.

Vi har i denne laboratorieøvelse kigget nærmere på A/D konvertering i forhold til måling af vægt. Dette har indebåret teori omkring linearitet og præcision samt zero-drifting og kalibrering ved et fysisk system. Det har givet et indblik i hvor stor grad, at vi kan regne med, at en måling er præcis og hvilke usikkerheder, der kan være i forbindelse med hele opstillingen.

Når vi så kigger på den afvigelse, vi har kunnet måle, må vi erkende at vægten alligevel kommer ret tæt på at være nøjagtig, hvis den lige er kalibreret. Vi kan se en form for sensitivity drift, når vi lader vægten stå et stykke tid og herefter foretager en måling igen. Det er meget vigtigt, at man kalibrerer måleudstyr, inden der foretages en måling. Med lige præcis denne vægt er det vigtigt, at vi laver et nulpunkt på et kg, da vi ellers ikke vil se en særlig stor linearitet.