

## Analog styring

Fra projektbeskrivelsen skal dette krav fyldes

Krav	Beskrivelse	Prioritet
Temperatur-sekvens	Ovn skal skifte mellem en række faste temperaturer i en fast sekvens, f.eks. 50°C, 110°C, 80°C og forfra 50°C (mindst to forskellige temperaturer, helst tre).	Ubetinget

For at opfylde kravet er det nødvendigt at udvikle en analog temperatur styring. Der er i stand til at sammenligne spændingen målt over temperaturføleren (LM35) med 3 forskellige sætpunkt spændingen svarende til 3 forskellige valgte temperaturer

Blokdiagrammet her viser de funktionsblokke der indgår og tilslutningen til ovndriveren samt afvigelses display.

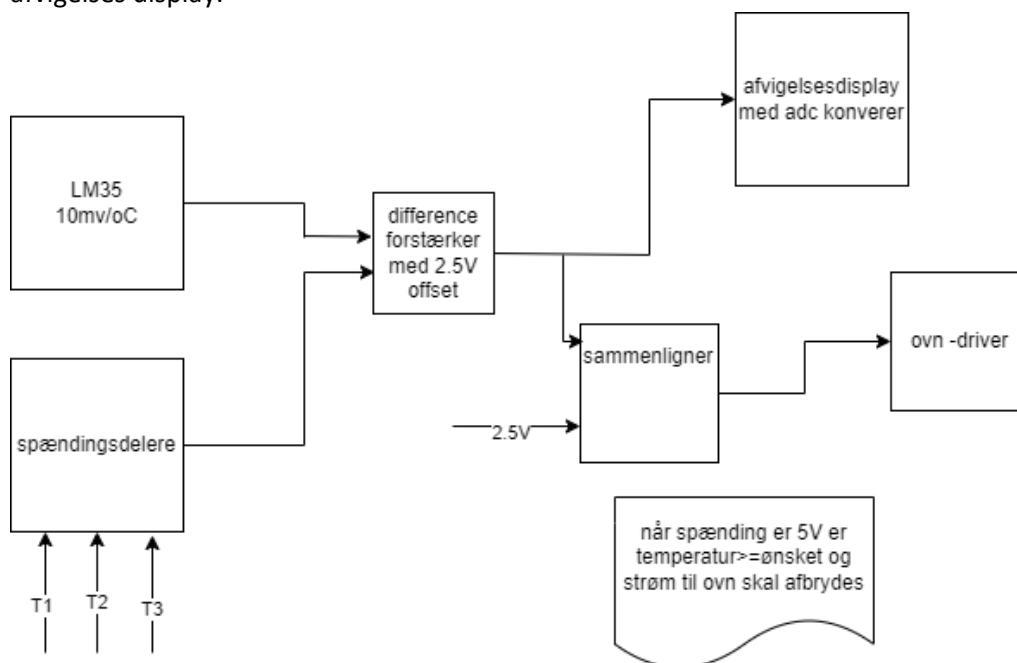


Fig. 1 blokdiagram over analog styring

LM35 sender en spænding ind i differenceforstærkeren på den ene indgang og den ønskede temperatur (sætpunkt) sættes vha. en spændingsdeler, som skal kunne tilsluttes en ad gangen til den anden terminal på differenceforstærkeren. Den forstærkede difference-spænding ledes ind i adc-konverteren forbundet til afvigelsesdisplay. Sammenligner blokken vil tænde og slukke ovndriveren ved at give input til den negative terminal på ovn-driverens operationsforstærkeren. Når spænding er 5 V vil strømmen til ovnen afbrydes og når den er under  $V_{ref}$  værdien ( jfr. opgave med måling af ovnparameter) vil strømmen løbe gennem ovn SMOS-FET der varmes op.

Nu gås der i dybden med de enkelte blokke i ovenfor.

### Design af sætpunktskredsløb

Spændingsdelerne repræsenterer sætpunktskredsløbet og består af tre sæt af to modstande. Kravet til spænding ud af spændingsdeler, er de spændinger, der svarer til tre valgte temperaturer; f.eks. 50 °C - 500mV, 80 °C- 800mV, 120°C -1200mV.

Du vælger tre temperaturer og regner de tre tilhørende sætpunktsspændinger ud, der svarer til spændinger ud af temperatursensoren LM35. LM35 giver 10mV per °C ud; f.eks. 25 °C giver 250 mV

Der gennemgås nu to alternativer til realisering af de tre spændingsdelere:

En analog multiplekser der vælger en af de tre forskellige spændinger ud fra hvad spændingsniveauet er på de tre styresignaler: T1, T2, T3. Tx repræsenteres af 5V (logisk høj) eller 0V (logisk lav) og de påtrykkes i et binært mønster f.eks. 5V, 0V, 0V for henholdsvis T1,T2,T3.

### Multiplekser kredsløb:

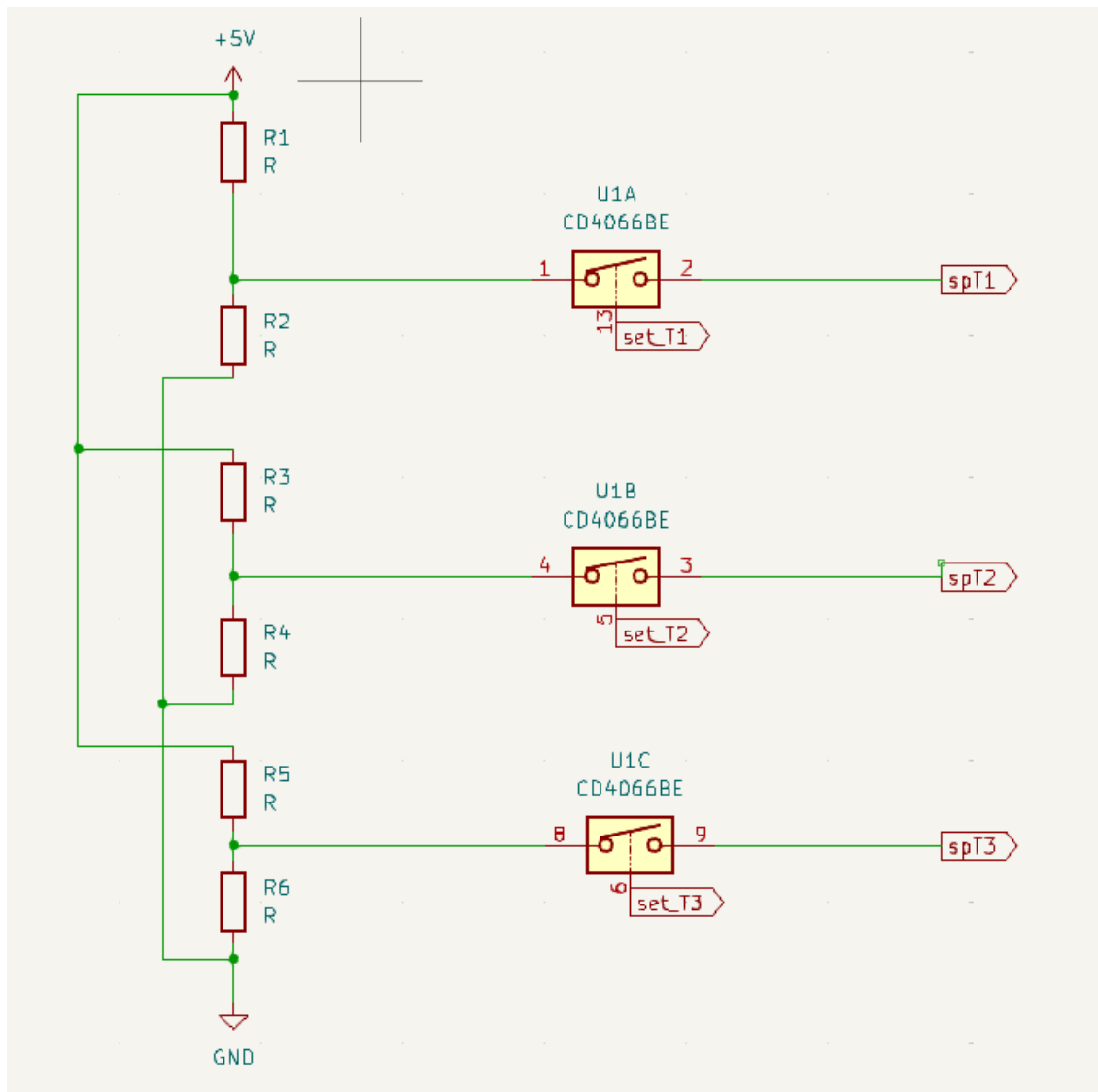


Fig 2 Multiplekser med spændingsdelere

Udgangsmodstand på CD4066 er 470 ohm typisk og maks. 1040 ohm , jfr.datablad for CD4066

Hvor CD4066 er en analog multiplekser (alle indgange skal forbindes!) og de 3 spændinger sat vha. spændingsdeleren på indgangene kommer på udgangen, når der er 5V signal på set\_Tx (x er 1, 2,3 i diagram) De to modstande (R1, R2, R3, R4,R5,R6) skal vælges, så der løber max. 0.1 mA i dem. Vælg en af de to modstande, så det krav er opfyldt og beregn den anden modstand. Set\_tx bliver styret af et digitalt kredsløb der gives i den næste opgave.

Alternativt til overstående er spændingsdelere som vist i nedenstående diagram:

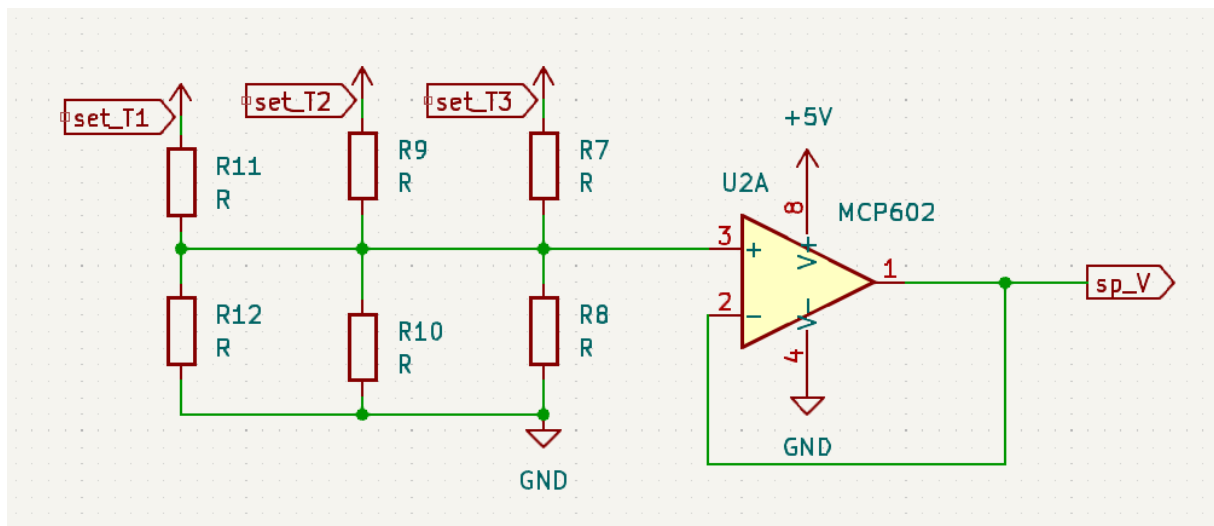


Fig. 3 Spændingsdelere

Koblingen virker ved at spændingsdeleren får en og kun en 5 V ind på set\_T1 eller set\_T2 eller set\_T3, mens de 2 andre set terminaler er forbundet til 0V. Set\_Tx kommer fra et digitalt kredsløb, derfor vil der være 0V tilsluttet, når spændingen set\_tx ikke er valgt. Forsøg at finde modstandene, så der løber omkring 0,1 mA eller mindre i den ækvivalente bundmodstand i serieforbindelsen. Den ækvivalente bundmodstand vil f.eks. være  $R_{12} // R_{10} // R_{8} // R_{9} // R_{7}$  for når 5 V spænding sættes ind på set\_T1, og set\_T2=0V, set\_T3=0V; det medfører at top-modstandene R), R7 er i parallel med bundmodstandene. Når sæt-spændingen forbindes til differensforstærkeren, vil spændingsdeleren belastes, derfor indsættes Operationsforstærkeren U2A

Hints til beregning af bundmodstand i spændingsdelere i overstående kredsløb – vælg den samme værdi for R12, R10 og R8 – f.eks. 30 kohm og regn så den ækvivalente modstand ud – hvilket vil være  $1/3 * \text{den valgte modstand}$ . Derved bliver kredsløbet simplere: så i stedet for 3 modstande i bunden er der en modstand nederst på 10 kohm

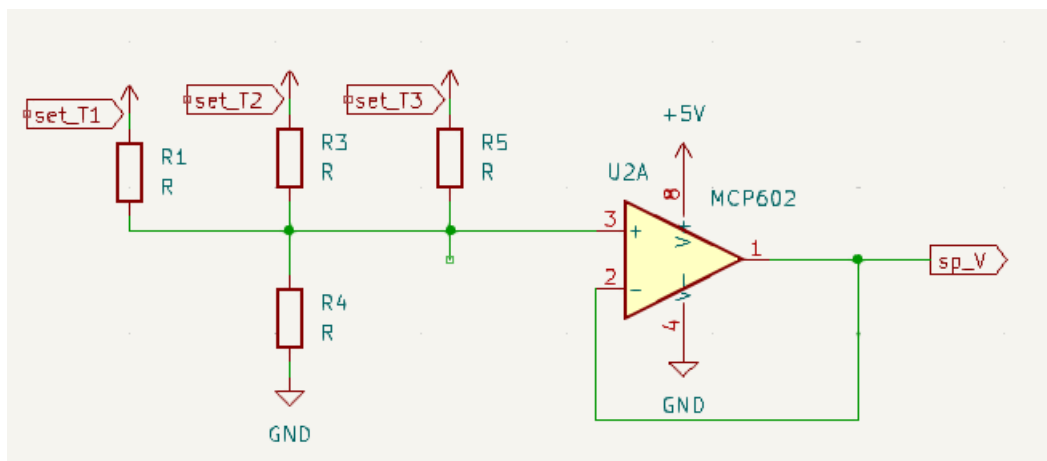


Fig. 4 ækvivalent spændingsdelere

Derefter stilles der 3 modstands udtryk op for den ækvivalente bundmodstand, hvor de to modstande der har 0V over sig bliver parallel med den R4 valgte modstand. Ex. Med R4 er 10000 ohm fås:

$$\frac{1}{0.0001 + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_3}}$$

0.00001 er  $1/R_4$  og den tilhørende spænding 0.5 V (for 50 °C) der

falder over denne er:

$$0.5 = \frac{5}{\left(R_1 + \frac{1}{0.0001 + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_3}}\right) \left(0.0001 + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_3}\right)} \quad (1)$$

Stil selv de andre to ligninger op for de 2 andre sæt-punkter spændinger – derved fås 3 ligninger der kan løses mht.  $R_3$ ,  $R_5$  og  $R_1$

**Så vælg et af de to kredsløb** vist ovenfor der styrer sætpunktsspændingen og beregn modstandene.

Tegn diagrammet med de valgte modstandsværdier og byg det.

**Test** at de neddelte spændinger passer, når der påtrykkes de 3 forskellige set-punktspændinger henholdsvis V1 til V3 for set\_t1=5V, og set\_T2=0V og set\_t3=0V, og derefter set\_T2=5V og de resterende to sat til 0V. – **vis i en tabel beregnede værdier fra spændingsdelerne og den målte spænding.** Og kommenter på om det er som forventet.

### Design af difference forstærker

Differensforstærkeren bygges med en operationsforstærker mcp6002 – der er 2 op-amps i en pakke.

Koblingen af differensforstærkeren er vist i fig. 5:

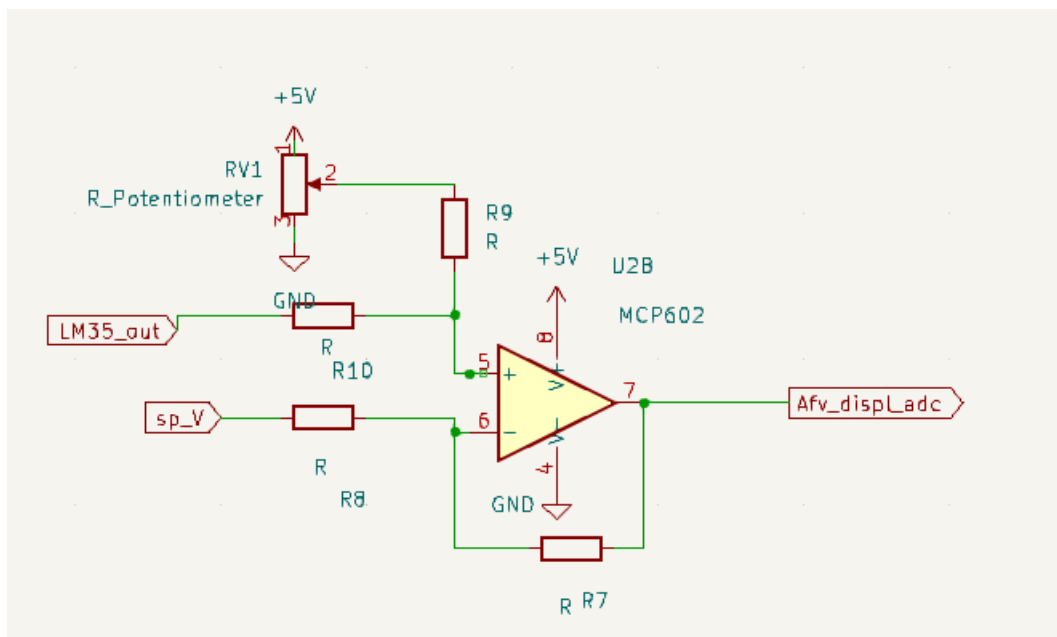


Fig. 5 differensforstærker

Formålet med kredsløbet er forstærke forskellen mellem sætpunktsspænding (sp\_V) og spændingen LM35\_out. Hvor sætpunktsspænding repræsenterer den ønskede ovn-temperatur og spændingen LM35\_out repræsenterer den aktuelle temperatur.

Formålet med RV1 er at sætte en offsetspænding på 2.5 V – og kunne justere den til 2.5V – alternativ til RV1 er en spændingsdeler, der kan halvere de 5V. Hvis RV1 benyttes vælg et trimmepotentiometer på 220 ohm. Det gøres for ikke at øge R9, der jo skal være lig R7.

Differensforstærkningen er givet ved formlen:

$V_{out}/V_{in} = \text{Gain}$ .  $V_{in}$  er difference mellem  $V+$  og  $V-$  på op-amp. spændingen ud af temperatursensoren LM35 er LM35\_out, den går ind på R10. Gain bestemmes med forholdet mellem R7 og R8 samt  $R9=R7$  og  $R10=R8$ . Spændingen ud på OP-amp er så givet ved

$$Afv_{displ_{adc}} = \frac{R7}{R8} * (LM35_{out} - sp\_V) + 2.5$$

Så udgangsspændingen på differenceforstærkeren har en offset på 2.5V. De 2.5V er adderet fordi der er offset.

Beregn  $R9=R7$  når  $R10=R8$  sættes til 10kohm i værdi.

Der ønskes en forstærkning så udgangsspændingen ikke går højere op end maks. output på mcp6002 – jfr. Datablad for mcp6002, så kan den maksimalt blive  $VDD - 25\text{mV}$  - så 4,975 V er absolut maks. Spænding for  $V_{out}$ , når  $VDD = 5\text{V}$ .

Temperatur display	Systemet skal vise om ovnen har den ønskede temperatur eller temperaturen er højere eller lavere end den ønskede værdi. Dette kan passende gøres med en lysdiode-række som vist på figur 2. Den midterste lysdiode angiver den ønskede temperatur og hvert trin svarer til en afvigelse på f.eks. 1 °C. Alternativt kan temperaturen vises på et digitalt display.	Ønskeligt
--------------------	--	-----------

For at bestemme forstærkningen af difference skal kravet vist her fra projektbeskrivelsen overvejes. Opgaven om afvigelsesdisplayet lærte os at opløsningen (mindst betydende bit) på ADC'en fire mest betydende bit er  $16/256 * 5\text{V} = 312,5 \text{ mV}$  – Afvigelsesdisplayet skal vise temperaturændring, derfor skal det overvejes hvad ændring i temperatur på indgangen af differenceforstærkeren skal betyde for en lysdiode tændes. Vi ved at en grad medfører at LM35 giver 10mV ændring på indgangen – og da vores adc ændrer sin binære værdi på udgangen for hver gang spændingen ændrer sig 312,5 mV – så f.eks. hvis vi ønsker en lysdiode skal tændes per 1°C så må de 10mV forstærkes op til 312,5mV dvs. forstærkning skal være  $312,5/10 \text{ mV/mV} = 31,25$  gang. **Men du skal vælge hvilke temperatur ændring en lysdiode skal vise og ud fra det udregne forstærkning som eksemplet her viste. Derefter udregn så hvad R7 og R9 skal være.**

Beregninger vises i rapporten – **ikke som maple udskrift men med normale formler!** Når modstandsværdier er udregnet, og diagrammet tegnes op med de valgte modstande samt kredsløbet bygges og testes

**Test:** I rapporten tegnes en opstillingen der måles på. Der benyttes et voltmeter til at måle spændinger på indgange og udgange. Der skal måles på forstærkeren, for at se hvor godt den lever op til den udregnede forstærkning. Og der benyttes tre spændingskilder til at teste indgangene, en til forsyningsspænding på 5V, en til sætpunktspænding og en til den spænding der kommer fra LM35 (LM35\_out). Og for at kunne justere den simulerede LM35\_out kan der sættes et potentiometer ind over klemmerne på spændingsforsyningen og så justere præcis til den ønskede spænding på midterbenet; test en spænding ad gangen – Målingerne noteres i en tabel med værdier på indgange (sp\_V og LM35\_out) og difference spænding på udgangen  $afV_{displ_{adc}}$  og den beregnede udgangsspænding for tre sæt af sp\_V og LM35\_out på indgangene. Og kommenter på om det er som forventet.

### Komparator kredsløb

Det sidste kredsløb der skal bygges, er en komparator, som kan sammenligne midtpunkt spændingen på 2.5 V med ændring på udgangen af differenceforstærkeren, afV\_displ\_adc

Når temperaturen målt af LM35 har nået sætpunktstemperaturen så vil udgangen på differensforstærkeren være på 2.5 volt. Når spændingen på udgangen af differensforstærkeren er under 2.5 V, så skal ovnen varme op og det gør den, når der er 0V på udgangen af komparatoren, Derimod hvis temperaturen når over sætpunkt spænding vil spændingen på komparatoren være ca. 5 V og ovnen må ikke varme længere – Kredsløbet for komparatoren ses på næste side.

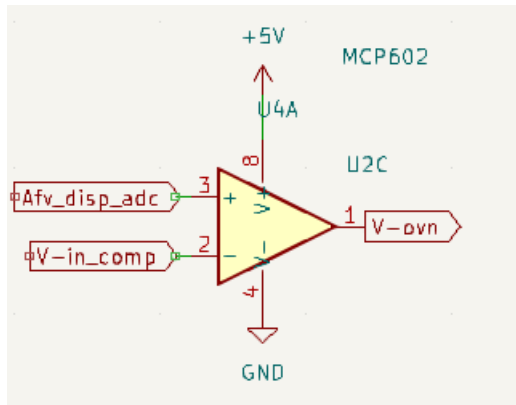


Fig. 6 Komparator

V\_ovn skal kobles til nødstopdioden på ovndriveren, når det skal sammenbygges – derfor er behov for en diode mere på ovndriveren hvis der skal være nødstop.

**Test:** at komparatoren virker ved at påtrykke på to forskellige spændinger til indgangene som vist i fig. 6 og prøv at regulere på indgangsspændingerne så V-ovn er 0 V eller 5V. Med et voltmeter mål spændingen på indgang Afv\_disp\_adc og V-in\_comp og på udgangen V-ovn. Skriv resultaterne ned i en tabel. Og kommenter på om det er som forventet.

### Integration af de tre kredsløb

Nu forbindes de tre kredsløb sammen og der sættes 5 V forsyning på **husk fælles gnd 0 V** helst i et fællespunkt.

**Test:** Stil så 3 scenarier op, hvor der testes for målt temperatur: Temperatur under sætpunkt, temperatur lig sætpunkt og temperatur over sætpunkt. Stil en tabel op med spændinger på indgange og spændinger målt på udgange og forklar om det målte er som forventet eller der er afvigelser og hvorfor.

Der skrives en journal/rapport med dokumentation for de 3 kredsløb, dvs. diagrammer med de valgte modstande og selve beregningerne af modstande som anført ovenfor. Læsbare formler der er anvendt til beregninger af modstande med tilhørende forklaringer. **ingen maple kopi!** (maple kopi paste i bilag) Tabeller med test og måleresultater som anført ovenfor med forklaringer til /diskussion af hvor godt det stemmer med det beregnede. Format i pdf.

2025-10-29 osch