Måling af Termodynamiske parametre ver2.

Foretag steady state målinger, f.eks. med 5 og 10 W effekt afsat i MOSFET transistoren i stillestående luft og vent til temperaturen er konstant. Disse målinger kan bruges til at bestemme Rth (konvektionsmodstand for varmetab) og eventuelt ε ud fra de formler der er angivet ovenfor. Brug det driverkredsløb der er vist på figur 1, og juster det til den effekt vi vil måle ved.

Der dokumenteres i en lille rapport målingerne og beregningerne.

1.1 Driverkredsløb til opvarmning

Vi bruger en MOSFET transistor af typen IRF530 som varmelegeme der skrues fast på ovnen (T1 på figur 1). Det viste kredsløb kan med fordel loddes op på et hulprint eller der kan laves et PCB

En MOSFET fungerer således at spændingen på gate (G) styrer strømmen der går fra drain (D) til source (S), og dermed den effekt der afsættes i transistoren. Ved under ca. 2V på gate (G) i forhold til source (S) trækker MosFet transistoren ingen strøm.

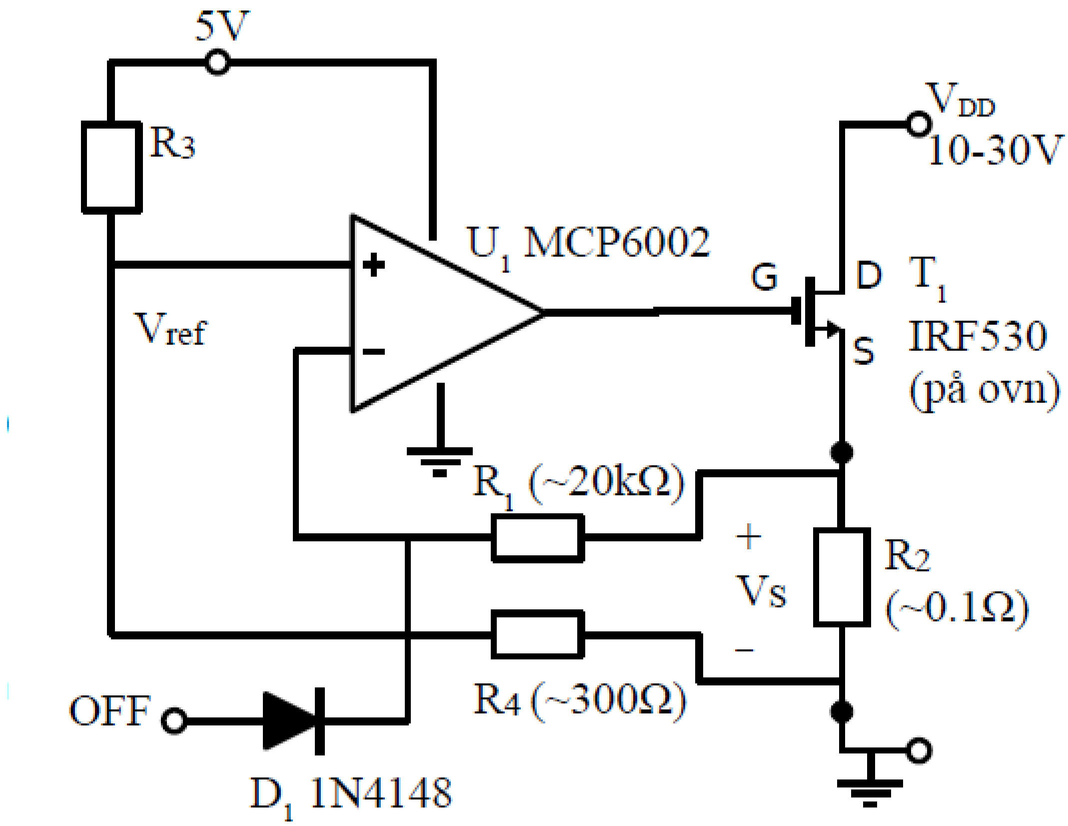


Fig 1: Driverkredsløb

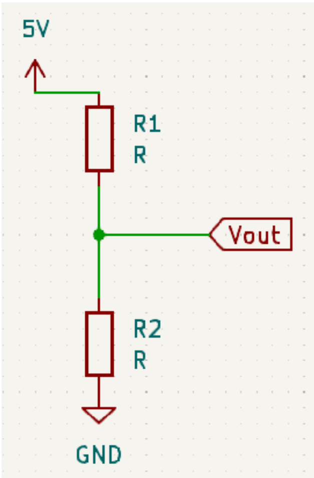
Strømstyrken gennem MOSFET'en måles ved at måle spændingsfaldet over modstanden R2. Tilbagekoblingen gennem operationsforstærkeren U1 sørger for at spændingen over R2 er lig med Vref.

Effekten i T1 justeres for den ønskede strøm ganget med R2. Beregn den afsatte effekt i R2 og vælg en modstandstype der kan tåle denne effekt. R2 er så lille at modstanden i ledninger og samlinger ikke kan ignoreres. Derfor skal R1 og R4 forbindes så tæt på R2 som muligt, og loddes. Den del af kredsløbet der trækker store strømme, altså forbindelsen fra VDD via T1 og R2 til ground må ikke gå gennem et breadboard, da dette ikke er beregnet til store strømme og tykke ledninger. Brug helst loddede forbindelser til denne del.

Dioden D1 bruges til at slukke for varmen. Et højt signal på OFF vil få udgangen på U1 til at gå lav således at T1 ikke varmer, forbind en kontakt så du kan starte og slukke for varmen.

Spændingen over R4 styrer hvor meget Gaten G åbner op og den skal beregnes.

Vha. af spændingsdeler formlen vist nedenfor skal R3 i overstående kredsløb beregnes – du skal erstatte R1 og R2 med R3 og R4 og isolere R3 og sætte Vout til den spænding der er over R2*I, med R2=0.1 ohm – så f.eks. I=1A, så er Vout =Vref=0,1 V. Excel ark ligger under opgaver hvor du kan arbejde dynamisk med forskellige scenarier



$$Vout = \frac{R2}{R1 + R2} * 5\,V$$

1.2 Termiske beregninger på ovn

Ovnen består af en aluminiumsklods med påmonterede komponenter. Vi ønsker at bestemme varmekapaciteten og varmetabet fra denne.

For at bestemme Cth (varmekapacitet) kræves en dynamisk måling ($dT_{ovn}/dt \neq 0$). Det er bedst at måle hældningen på temperaturkurven ved en temperatur der kun er lidt over

Stuetemperatur så varmetabet er lille. Brug den første del af kurven hvor temperatur-stigningen er stejl og nogenlunde lineær til at bestemme hældningen dT_{ovn}/dt, og beregn så C_{th} ud fra ligning (5).

Når der tilføres en effekt P_{ovn} (i Watt) til ovnen vil temperaturen stige med en hastighed dT_{ovn}/dt (i grader per sekund). Denne temperaturgradient er bestemt af ovnens termiske varmekapacitetC_{th}

Ovnens termiske varmekapacitet er igen bestemt af ovnens masse og materialets specifikke varmekapacitet C. For rent aluminium er den specifikke varmekapacitet:

$$c_{Al} = 900\frac{J}{kg \cdot K},$$

og ovnens termiske varmekapacitet:

$$C_{th} = m \cdot c_{Al}.$$

Ved en ovnmasse *m* = 25 g fås f.eks. (oven vejer ikke 25g!):

$$C_{th} = 25 \cdot 10^{-3} \cdot 900 = 22.5\text{J/K} \quad (1)$$

det vil sige der skal afsættes 22.5 Joule for at øge ovnens temperatur 1°C. Joule er $W \cdot s$ (dvs. 22.5 W i ét sekund skulle opvarme ovnen 1 grad, hvis der ikke er varmetab).

Den samlede tilstrømning af effekt P_{ovn} består af den tilførte elektriske effekt P_{el} minus et effekttab P_{tab} til omgivelserne:

$$P_{\text{ovn}} = P_{\text{el}} - P_{\text{tab}}, \tag{2}$$

hvor P_{tab} kan udtrykkes som:

$$P_{\text{tab}} = \frac{T_{\text{ovn}} - T_{\text{a}}}{R_{\text{th}}} + A\varepsilon\sigma(T_{\text{ovn}}^4 - T_{\text{a}}^4) \tag{3}$$

hvor første led udtrykker varmetab ved konvektion med den omgivende luft. R_{th} er den termiske modstand for konvektion, T_{a} er omgivelsestemperaturen (engelsk *ambient temperature*). Det andet led $A\varepsilon\sigma(T_{\text{ovn}}^4 - T_{\text{a}}^4)$ er effekttab ved udstrålet varme, hvor *A* er effektivt overfladeareal, ε er emissivitet, som er 1 for et perfekt sort legeme, og $\varepsilon < 1$ for andre overflader, og σ er Stefan-Boltzmanns konstant $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ Wm^{-2}K^{-4}.

Den termiske modstand Rth har enheden K/W, eller udtrykt på en anden måde: Rth er et tal for hvor mange graders temperaturforskel der skal være for at der tabes 1 W. Det første led i (3) er altså analogt med Ohms lov, hvor temperaturforskel svarer til spændingsforskel og effekt (varmestrøm) svarer til strømstyrke. Det andet led, der udtrykker tab ved varmestråling, passer ikke til Ohms lov fordi temperaturen her er i fjerde potens. Husk at temperaturerne skal være i Kelvin t_k (T_o+t)= 273 °C +t) her for at formlen passer.

Ovnens temperatur kan så udtrykkes som en funktion af tiden *t,* fra en starttemperatur T0:

$$T_{\text{ovn}}(t) = T_0 + \frac{1}{C_{th}} \int_{t=0}^{t} (P_{el} - \frac{T_{\text{ovn}}(t) - T_{\text{a}}}{R_{\text{th}}} - A\varepsilon\sigma(T_{\text{ovn}}^4(t) - T_{\text{a}}^4))\, dt \tag{4}$$

Vi differentierer på begge sider og får differentialligningen:

$$\frac{d}{dt} T_{\text{ovn}}(t) = \frac{1}{C_{\text{th}}} (P_{\text{el}} - \frac{T_{\text{ovn}}(t) - T_{\text{a}}}{R_{\text{th}}} - A\varepsilon\sigma(T_{\text{ovn}}^4(t) - T_{\text{a}}^4)) \tag{5}$$

Ved steady state $T_{\text{ovn}}(t) = T_{\text{ss}}$ er $\frac{d}{dt} T_{\text{ovn}}(t) = 0$, og det reducerer udtrykket i (5) til:

$$0 = \frac{1}{C_{\text{th}}} (P_{\text{el}} - \frac{T_{\text{ss}} - T_{\text{a}}}{R_{\text{th}}} - A\varepsilon\sigma(T_{\text{ss}}^4 - T_{\text{a}}^4)) \quad \text{(steady state)} \tag{6}$$

eller

$$P_{\text{el}} = \frac{T_{\text{ss}} - T_{\text{a}}}{R_{\text{th}}} + A\varepsilon\sigma(T_{\text{ss}}^4 - T_{\text{a}}^4) \quad \text{(steady state)} \tag{7}$$

Dette udtrykker at ved en konstant tilført effekt P_{el} opnås en stabil *steady state* temperatur T_{ss}. Dette forudsætter selvfølgelig at ovnen og de anvendte komponenter kan tåle denne temperatur.

Udtrykket (7) har to ubekendte størrelser R_{th} og ε. Det betyder at kan vi opstille to ligninger med sammenhørende værdier for P_{el} og T_{ss}, og ud fra disse bestemme R_{th} og ε

Det kan være svært at foretage tilstrækkeligt præcise målinger til at bestemme begge disse konstanter R_{th} og ε. I stedet kan det effektive strålingsareal A antages at være lig det fysiske areal, ε en passende værdi for blankt metal (mellem 0.1 og 0.4), og så kan R_{th} bestemmes med kun én steady state måling.

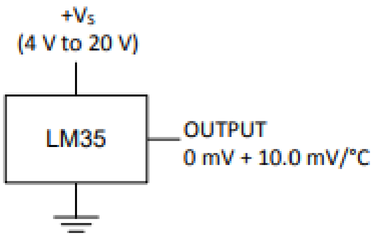
En tilnærmet værdi for C_{th} kan bestemmes ud fra aluminiumsklodsens masse. En mere nøjagtig værdi kan fås fra ligning (5), hvor temperaturgradienten dT_{ovn}/dt måles ved en kendt effekt.

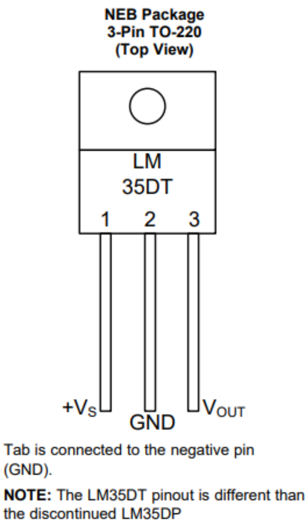
Alle tre parametre kan bestemmes ud fra sammenligning af måling med løsningen til differentialligningen (5) som et Taylor polynomium (som en regneopgave) eller ved en simulering i et C program).

Bestemmelse af Rth og A*epsilon:

Foretag steady state målinger, f.eks. med 5 og 10 W effekt afsat i MOSFET transistoren i stillestående luft og vent til temperaturen er konstant. Disse målinger kan bruges til at bestemme R_{th} (konvektionsmodstand for varmetab) og eventuelt ε ud fra de formler der er angivet ovenfor. Brug det driverkredsløb der er vist på figur 1, og juster det til den effekt vi vil måle ved

Temperaturen måles ved at måle spændingen ud af lm35 temperaturføleren 10mV/°C og tiden måles med et stopur på din tlf – så der aflæses hvert 5 sekund spændingen over lm35 målt med voltmeter. Alternativt sæt et oscilloskop med en timebase til at køre 60 sekunder om muligt. Se video om oscilloskop

<table>
<tr>
<td>Forbindelse af LM35 – benyt 5V som


Vs</td>
<td>

Benforbindelse på LM35</td>
</tr>
</table>

Rapporten skal vise udledninger, beregninger og målinger og plot af temperatur som funktion af tiden

Ref: Fundamentals of Heat and Mass Transfer" af Frank P. Incropera, David P. DeWitt, Theodore L. Bergman, og Adrienne S. Lavine, 2007