

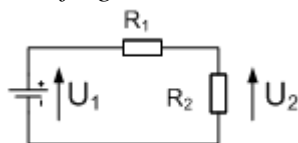
Løsningsforslag til EKSAMEN

| | |
|--|---|
| Emnekode: ITD12011 | Emne: Fysikk og kjemi |
| Dato: 03. Mai 2012 | Eksamenstid: kl.: 9:00 til kl.: 13:00 |
| Hjelpemidler: <ul style="list-style-type: none"> • 4 sider (A4) (2 ark) med egne notater. • Ikke-kommuniserende kalkulator. • Gruppebesvarelse, som blir delt ut på eksamensdagen til de som har fått den godkjent | Faglærer: Erling Strand |
| <p>Eksamensoppgaven: Oppgavesettet består av 4 sider med oppgaver og 1 side vedlegg, totalt 5 sider. Kontroller at oppgaven er komplett før du begynner å besvare spørsmålene.</p> <p><i>Oppgavesettet består av 3 oppgaver. Alle oppgavene skal besvares. Alle oppgavene teller likt til eksamen.</i></p> | |
| <p>Sensurdato: 30. Mai 2012 Karakterene er tilgjengelige for studenter på studentweb senest dagen etter oppgitt sensurfrist. Følg instruksjoner gitt på: http://www.hiof.no/index.php?ID=7027</p> | |

Alle utregninger må tas med i besvarelsen! Noen formler finnes i vedlegg.

Oppgave 1

a) Gitt følgende krets:



Spenningen $U_1 = 7,0 \text{ V}$, motstandene $R_1 = 3300 \ \Omega (= 3K3)$ og $R_2 = 1000 \ \Omega (= 1K)$.

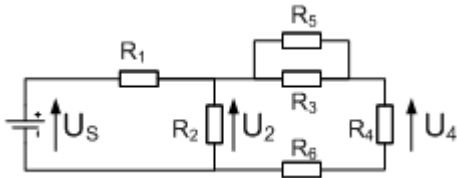
1) Hvor stor er spenningen U_2 ?

$$U_2 = \frac{U_1}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = \frac{7,0}{3300 + 1000} \cdot 1000 \text{ [V]} = 1,63 \text{ [V]}$$

2) Hvor stor er strømmen som går gjennom motstandene?

$$I = \frac{U_1}{R_1 + R_2} = \frac{7,0}{3300 + 1000} = 1,63 \text{ [mA]}$$

b) Gitt følgende krets:



$$U_s = 5,0 \text{ V}, R_1 = 500 \text{ } \Omega, R_2 = R_3 = 5600 \text{ } \Omega (=5K6), R_4 = 1000 \text{ } \Omega (=1K), R_5 = R_6 = 2700 \text{ } \Omega (2K7)$$

Hvor stor er spenningen U_4 ?

Må først finne spenningen U_2 . Begynner med å regne ut motstanden som er parallelt med R_2 , R_p :

$$R_{35} = \frac{R_3 \cdot R_5}{R_3 + R_5} = \frac{5600 \cdot 2700}{5600 + 2700} = 1822 \text{ [}\Omega\text{]}$$

$$R_p = R_{35} + R_4 + R_6 = 1822 + 1000 + 2700 = 5522 \text{ [}\Omega\text{]}$$

$$R_{2p} = \frac{R_2 \cdot R_p}{R_2 + R_p} = \frac{5600 \cdot 5522}{5600 + 5522} = 2780 \text{ [}\Omega\text{]}$$

$$U_2 = \frac{U_s}{R_1 + R_{2p}} \cdot R_{2p} = \frac{5,0}{500 + 2780} \cdot 2780 \text{ [V]} = 4,24 \text{ [V]}$$

$$U_4 = \frac{U_2}{R_p} \cdot R_4 = \frac{4,24}{5522} \cdot 1000 = 0,77 \text{ [V]}$$

c) Gi en forklaring på hva strøm og spenning er.

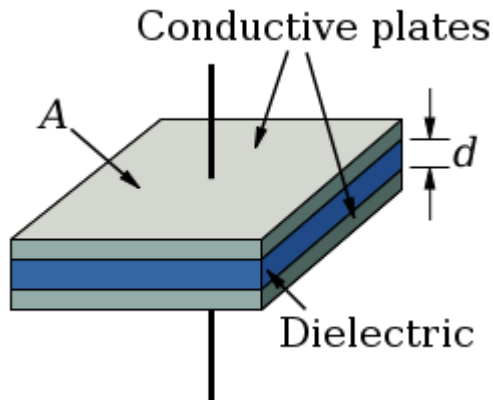
Strøm i en elektrisk ledning er en mengde ladning som passerer per tid i ledningen. Det kan uttrykkes matematisk: $I=Q/t$, hvor I er strømmen i Ampere, Q er ladning i Coulomb og t er tiden i sekund. En Coulomb er mengden ladning tilsvarende ladingen på $6,25 \cdot 10^{18}$ elementærladninger. En strøm på $1,0[\text{A}] = 1,0[\text{C}]/1,0[\text{s}]$. Altså en strømstyrke på $1,0$ Ampere, er lik $1,0$ Coulomb ladning som passerer et tverssnitt i ledningen i løpet av et sekund.

Spenning er det arbeid som er nødvendig for å flytte en enhet positiv ladning fra et negativt punkt til et mer positivt punkt. Den har benevnelsen Volt. En Volt er Joule per Coulomb. Det kan uttrykkes matematisk $V=W/Q$, hvor V er spenningen i Volt, W er arbeidet, eller energien i Joule og Q er ladingen i Coulomb.

- d) Gi en forklaring på hvordan en kondensator er laget, og hvordan den virker. I din beskrivelse må du ha med ordene «Farad», «ladning», «Coulomb», «spenning» og «strøm». Du kan også bruke formlene :

$$C = \frac{Q}{U} \quad \text{og} \quad C = \epsilon_r \epsilon_0 \cdot \frac{A}{l} \quad \text{i din forklaring.}$$

$$\epsilon_0 = 8,8452 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$



En kondensator er laget ved at to elektrisk ledende plater står mot hverandre, med en gitt avstand d , og et dielektrikum i mellom. Dielektrikumet beskrives av dielektronkonstanten ϵ , som ofte deles opp i to deler: $\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$, en relativ og absolutt del. Brukes luft som dielektrikum, er det bare ϵ_0 . Alt annet dielektrikummateriale har en relativ verdi ϵ_r i forhold til luft.

Kondensatorverdien C er bestemt av arealet A , på platene, avstanden d mellom platene, og dielektrisitetetskonstanten : $\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$ i materialet mellom platene.

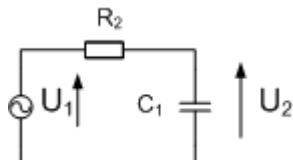
$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \cdot \frac{A}{l}$$

Størrelsen på kondensatoren har en verdi, som har benevelsen Farad. Den forteller egentlig hvor mye ladning Q det er på platene per spenning, i Volt. Ladningen Q angis i Coulomb. Når du lader opp en kondensator, ved å koble til en spenningskilde, vil det gå en strøm av ladning til platene. Etter hvert som platene lades opp, stiger spenningen overplatene, til de når den spenningen som er på den tilkoblede spenningskilden. Strømmen av ladning er størst med en gang spenningskilden kobles til kondensatorplatene. Etter hvert som spenningen stiger på platene, vil strømstyrken gradvis avta.

Formlene for en kondensator, med strømmen $i(t)$ og spenningen $u(t)$, er gitt av:

$$i(t) = C \cdot \frac{du(t)}{dt} \quad u(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(t) dt + u(t_0)$$

- e) Ta utgangspunkt i kretstegningen:



- 1) Hva heter denne kretsen?
Dette er et LavPass filter (LP filter)

- 2) Gi en kort beskrivelse av virkemåten.

Kretsen slipper igjennom et spennings-signal, U , med lave frekvenser, mens høye frekvenser blir dempet. Grensen går ved grensefrekvensen, f_G . Et spenningsignal, U , med frekvensen under grensefrekvensen, slipper stort sett igjennom, mens frekvenser over grensefrekvensen blir dempet. Jo høyere frekvensen er, jo mer

blir den dempet. Demplingen angis ved å ta forholdet mellom utgangspenningen delt på inngangspenningen: U_2/U_1 .

3) *Utled uttrykket for U_2/U_1 .*

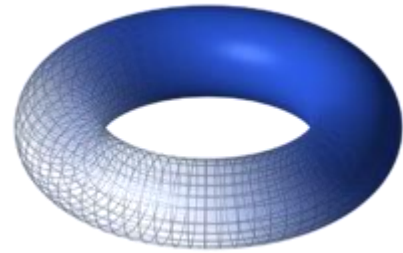
Tar utgangspunkt i impedansen i kondensatoren, $Z_c = \frac{1}{j2\pi f C}$

$$U_2 = \frac{U_1}{(R_2 + Z_c)} \cdot Z_c$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{Z_c}{(R_2 + Z_c)} = \frac{\frac{1}{j2\pi f C_1}}{\left(R_2 + \frac{1}{j2\pi f C_1}\right)} = \frac{1}{(1 + j2\pi f C_1 R_2)}$$

Oppgave 2

- a) Regn ut den magnetiske motstanden i en ringformet, rund metallkjerne. Anta at $\mu_r=800$ i metallkjernen. Selve diameteren i metallkjernen er 10 mm, og diameteren i ringen er 200 mm. Formel for utregning av magnetisk motstand finnes i vedlegg.



Formelen for magnetisk motstand, R , er gitt av $R = \frac{l}{\mu_r \mu_0 A}$

$$\text{Regner først ut } A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (0,005)^2 = 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ [m}^2\text{]}$$

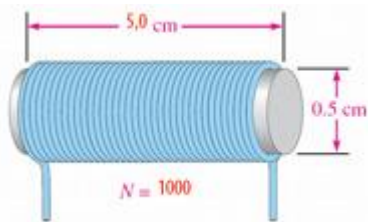
$$\text{Regner så ut lengden } l = 2 \cdot \pi \cdot r = 2 \cdot \pi \cdot 0,1 \text{ [m]} = 0,63 \text{ [m]}$$

Setter disse verdier inn i formelen, og regner ut den magnetiske motstanden:

$$R = \frac{l}{\mu_r \mu_0 A} = \frac{0,63 \text{ [m]}}{800 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \left[\frac{\text{H}}{\text{m}} \right] \cdot 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ [m}^2\text{]}} = \frac{0,63 \cdot 10^7}{0,789} \left[\frac{1}{\text{H}} \right] = 7,98 \cdot 10^6 \left[\frac{\text{At}}{\text{Wb}} \right]$$

Obs: Den siste overgangen mellom benevnelsene er ikke gjennomgått, og kan heller ikke forvente at de kan det. Det er like riktig med hvilken som helst av de to benevnelsene her.

- b) Finn ut hvor stor spolen under er. Antall viklinger er 1000, diameter i kjernen er 0,5 cm og lengden er 5,0 cm. Anta at den relative permeabiliteten $\mu_r = 250$



$$\text{Kjernes areal, } A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (0,0025^2) = 1,96 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Størrelsen på spolen er gitt av:

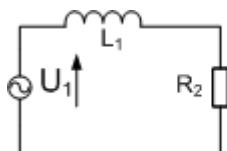
$$L = \frac{N^2 \mu_r \mu_0 A}{l} = \frac{1000^2 \cdot 250 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot \pi \cdot 0,0025^2 \left[\frac{\text{H}}{\text{m}} \right] \cdot \text{[m}^2\text{]}}{0,05 \text{ [m]}}$$

$$L = \frac{61685,03 \cdot 10^{-7}}{0,05} \text{ [H]} = 0,123 \text{ [H]} = 123 \text{ [mH]}$$

- c) Hva hadde størrelsen på spolen blitt, hvis kjernen ble byttet om til luft?

Da hadde μ_r skiftet verdi fra 250 til 1. Det ville gitt en verdi på $123/250 \text{ [mH]} = 492 \text{ [\mu H]}$

d) Ta utgangspunkt i følgende krets:



Her er $L_1 = 47 \mu\text{H}$, $R_2 = 10 \text{ K}\Omega$



Utled uttrykket for grensefrekvensen, og regn ut hva grensefrekvensen er?

Vi setter impedansen i spolen til $Z_L = j2\pi fL_1$

$$U_2 = \frac{U_1}{(R_2 + Z_L)} \cdot R_2$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2}{(R_2 + Z_L)} = \frac{R_2}{(R_2 + j2\pi fL_1)} = \frac{1}{\left(1 + j2\pi f \frac{L_1}{R_2}\right)}$$

Grensefrekvensen, f_G , er der hvor Real-delen er lik Imaginær-delen i uttrykket:

$$2\pi f_G \frac{L_1}{R_2} = 1$$

$$f_G = \frac{R_2}{2\pi L_1} = \frac{10 \cdot 10^3}{2\pi \cdot 47 \cdot 10^{-6}} [\text{Hz}] = 0,034 \cdot 10^{3+6} [\text{Hz}] = 34 \cdot 10^6 [\text{Hz}] = 34 [\text{MHz}]$$

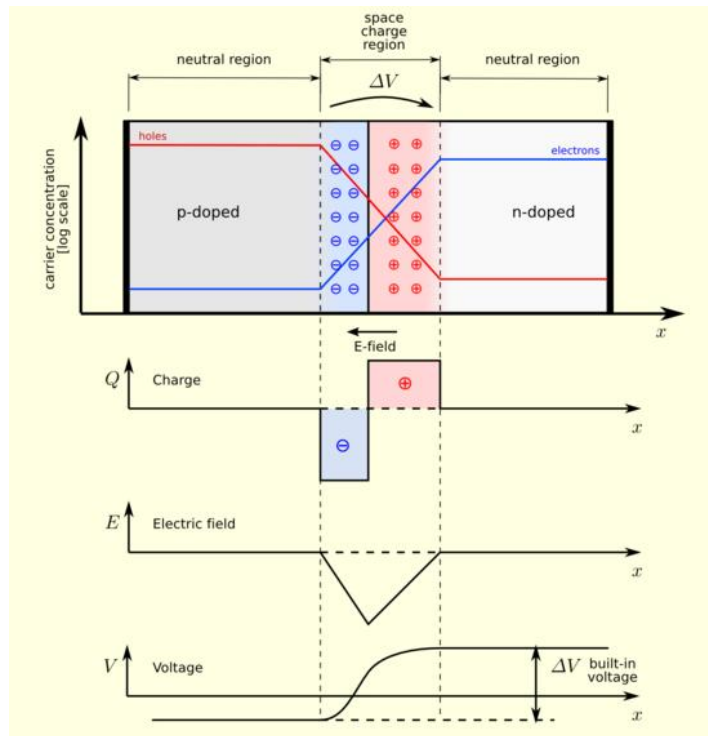
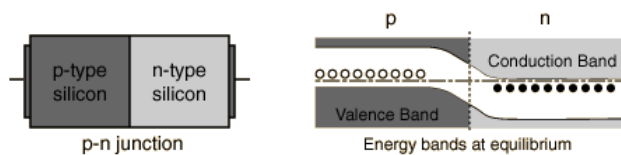
e) Forklar virkemåten for en PN-overgang.

En PN-overgang, er et p-material og n-materiale som er satt sammen.

En p-type halvleder er en halvleder som er dopet med et materiale som har 3 elektroner i sitt ytterste skall. Her blir det altså manko på et elektron for at det ytterste skallet skal være fylt opp. Dette elektronet som mangler kan man se på som et positivt "hull". Hvert fremmedatom vil altså inngå i bindingen og skape et hull, som er en positiv ladningstransportør. Vi får da mange frie hull i en p-type halvleder

En n-type halvleder er en halvleder som er dopet med et materiale som har 5 elektroner i sitt ytterste skall. Her blir det altså et elektron for mye. Dette elektronet er fritt og kan bevege seg rundt omkring. Vi får da mange frie elektroner i en n-type halvleder.

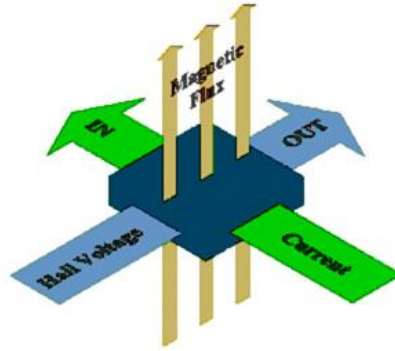
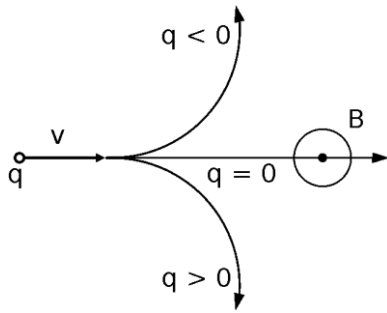
I overgangen mellom de to materialene danner det seg et spenningsjikt som må overvinnes før strømmen kan gå. Dette spenningsjiktet overvinnnes hvis det tilkobles en pluss-spennning på p-materialet, og en negativspennning på n-materialet. Spenningsjiktet hadde økt hvis polariteten hadde vært motsatt, og da ville det ikke gå noen strøm.



Årsaken til at det blir et spenningsjikt er at p-materialet har et hull, eller et elektron for lite (som er et "hull") til å fylle opp det ytterste elektron-skallet. N-materialet har et elektron for mye i det ytterste elektron-skallet. Dette blir da et fritt elektron. Da p- og n-materialet kommer nær hverandre vil overskuddselektronene fra n-materialet fylle hullene i p-materialet. Dette skjer kun i et lite område rundt sjiktet, og ikke i hele materialet fordi potensialforskjellen som bygger seg opp vil hindre elektronene, som er lenger ifra sjiktet, å bevege seg mot sjiktet. Årsaken til at det blir en potensialforskjell er at n- og p-materialene i utgangspunktet er nøytrale. Når elektronene går til p-materialet, får p-materialet en negativ ladning, og n-materialet en positiv ladning. Når så p-materialet får en positiv spenningskilde tilkoblet vil den ta minke den negative ladningen på p-materialet. Tilvarende skjer i n-materialet, som blir tilkoblet en negativ spenning. Når spenningsforskjellen mellom p og n er kommet opp i 0,7 V, er det nok til at potensialforskjellen mellom sjiktet er tilnærmet null, og strøm vil gå.

f) Forklar virkemåten for en Hall-effekt sensor

En Halleffekt sensor måler magnetfeltet. Den baserer seg på Lorentz kraften, som virker på en ladning i bevegelse, i et magnetfelt. I figuren under til venstre, peker B feltet ut av skjermen (papiret). Hvis ladningen q er negativ, for eksempel et elektron, vil kraften virke oppover.

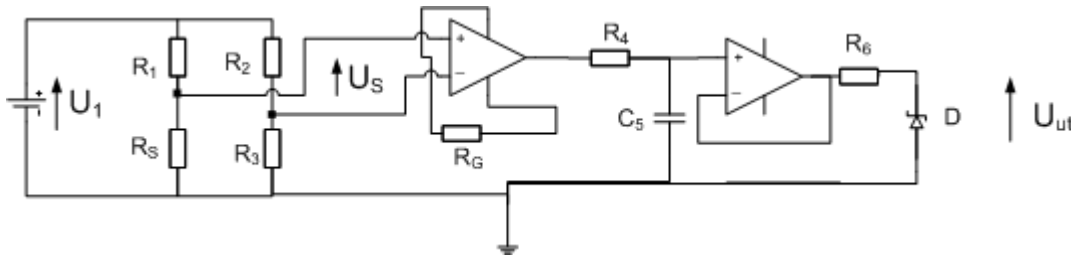


Figuren over til

høyre viser prinsippet for en Hall effekt sensor. Det brukes et halvleder element, som det sendes strøm igjennom. Strøm er elektroner i bevegelse. Når dette elementet er i et magnetfelt, vil det magnetfeltet påvirke elektronene, slik at de bøyer av. Dette skyldes Lorentz kraften. Denne avbøyningen gjør at det blir flere elektroner på den ene siden av halvleder elementet, og flere hull på den andre siden. Dette blir en spenning. Jo sterkere magnetfelt det er, jo mer avbøyes elektronene (og hullene), slik at spenningen blir proporsjonal med styrken i magnetfeltet.

Oppgave 3

- a) Du skal lage et komplett målesystem, en termometer. Temperaturområdet skal gå fra $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Du skal bruke temperaturføleren Pt100. Se datablader i vedlegg. Det skal brukes en balansert forsterker, type Amp02. Signalet fra ditt målesystem skal gå inn på en ADC, som går fra $0,0\text{ V}$ til $5,0\text{ V}$. Lavpassfilteret skal ha en grensefrekvens på 30 Hz . Det skal brukes en zenerdiode på $5,6\text{ V}$, $0,3\text{ W}$ i beskyttelses-kretsen. Lag kretstegning og regn ut alle komponentverdiene.



Spenningskilden U_1 i figuren over, kan gjerne erstattes av to like spenningskilder i serie, hvor midtpunktet legges til jord.

Vi velger $R_2=R_3$, og med en verdi hvor parallell koblingen av R_2 og R_3 er mest mulig lik parallellkoblingen av R_1 og R_S . Vi velger også $U_S=0,0\text{ V}$ ved -50°C .

Ved -50°C er $R_S=80,31\text{ }[\Omega]$. For at $U_S=0,0\text{ V}$ ved -50°C , må $R_2=80,31\text{ }[\Omega]$

Vi velger resultatet av parallellkoblingen ved en temperatur på for eksempel $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$R_{p1} = \frac{R_S \cdot R_2}{R_S + R_2} = \frac{100,00 \cdot 80,31}{180,31} = 44,5\text{ }[\Omega] \quad \text{Det gir } R_2=R_3=44,5 \cdot 2\text{ }[\Omega]=89,0\text{ }[\Omega]$$

Forsyningsspenningen på brua er ikke oppgitt. De utregnede verdiene er gitt av hvilken spenning som velges. Det er derfor flere mulige riktige svar på den delen av oppgaven som omhandler forsterkningen:.

Denne utregningen her er basert på at $U_1=6,0\text{ V}$, eller $\pm 3,0\text{ V}$.

Ved $+50^{\circ}\text{C}$ får vi da:

$$U_S = \frac{U_1}{R_1 + R_S} \cdot R_S - \frac{U_1}{R_2 + R_3} \cdot R_3 = \frac{U_1}{80,31 + 119,40} \cdot 119,40 - \frac{U_1}{2} = 6,00 \cdot 0,598 - 3,00 = 0,587\text{ }[V]$$

Denne utregningen her er basert på at $U_1=10,0\text{ V}$, eller $\pm 5,0\text{ V}$.

Ved $+50^{\circ}\text{C}$ får vi da:

$$U_S = \frac{U_1}{R_1 + R_S} \cdot R_S - \frac{U_1}{R_2 + R_3} \cdot R_3 = \frac{U_1}{80,31 + 119,40} \cdot 119,40 - \frac{U_1}{2} = 10,00 \cdot 0,598 - 5,00 = 0,978\text{ }[V]$$

Forsterkningen G , skal være slik at spenningen ut blir maks $5,0\text{ V}$.

Det gir ved $U_1=6,0\text{ V}$, eller $\pm 3,0\text{ V}$: $G=5,00 / 0,587 = 8,5\text{ ggr}$

Ved bruk av $U_1=10,0\text{ V}$, eller $\pm 5,0\text{ V}$: $G=5,00 / 0,978 = 5,1\text{ ggr}$

Tar utgangspunkt i formelen for forsterkningen, som er oppgitt for AMP02:

$$G = \frac{50[K\Omega]}{R_G} + 1 \quad \text{Det gir: } R_G = \frac{50[K\Omega]}{G-1}$$

Det gir ved $U_1=6,0$ V, eller $\pm 3,0$ V:

$$R_G = \frac{50[K\Omega]}{8,5-1} = 6,7[K\Omega]$$

Ved bruk av $U_1=10,0$ V, eller $\pm 5,0$ V:

$$R_G = \frac{50[K\Omega]}{5,1-1} = 12,2[K\Omega]$$

Lavpassfilteret skal ha en grensefrekvens på $f_G=30$ [Hz]. I oppgave 1e3) er uttrykket for dempningen i et LP filter utledet. Grensefrekvensen er der hvor Real-delen er lik Imaginærdelen i dette uttrykket. Det gir:

$$f_G = \frac{1}{2\pi R_4 C_5}$$

Velger f.eks $C_5= 1,0$ μ F. Det gir

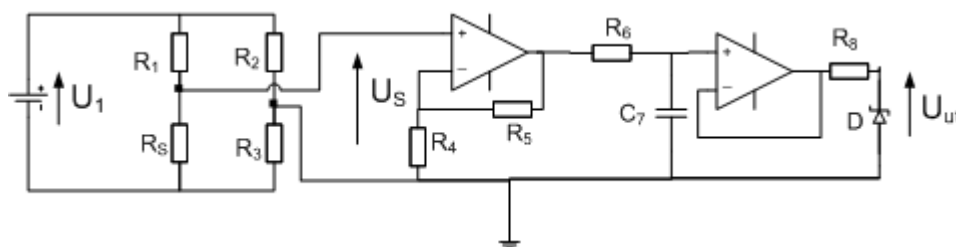
$$R_4 = \frac{1}{2\pi f_G C_5} = \frac{1}{2\pi \cdot 30 \cdot 1,0 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{188,5 \cdot 10^{-6}} = 5305[\Omega] = 5,3[K\Omega]$$

Beskyttelseskretsen, som består av motstanden R_8 og zenerdioden D, er plassert etter spenningsfølgeren. Vi forutsetter en forsyningspenning til operasjonsforsterkeren (i spenningsfølgeren) til å være ± 12 V. Med en zenerdiode, med zenerspenning på $5,6$ V, og med en maks spenning ut fra spenningsfølgeren på $+12,0$ V, vil spenningen over motstanden R_8 kunne bli: $12,0-5,6 = 6,4$ V. Maks strøm gjennom dioden er gitt av maks effekt den tåler. $P=U \cdot I$

$0,3$ W = $5,6$ V \cdot I Det gir en maks $I = 53$ mA. R_8 er der for å begrense strømmen. R_8 må da være større enn $R_8 \geq 6,4$ V / $0,053$ A = 119 Ω .

Nå er det også slik at inngangsimpedansen på en ADC er meget stor, så derfor kan man tillate en stor verdi på R_8 . Kan da velge $R_8 \gg 119$ Ω . F.eks $1,0$ K Ω

- b) *Hvordan vil du gjøre om kretsen i oppgave a), hvis du skal bruke ubalansert forsterker? Lag ny kretstegning av den delen, og regn ut de nye komponentverdiene.*



Det eneste forskjellen mellom denne krets, og kretsen i oppgave a), er forsterkerkretsen. Kan også kommentere tegningen over, og si at spenningen U_1 over brua, gjerne kan være seriekobling av to like spenningskilder, - slik som det ble nevnt også under oppgave a)

Forsterkningen i denne ubalanserte forsterkeren er gitt av:

$A = 1 + \frac{R_5}{R_4}$ Vi må ha samme forsterkning som i oppgave a) Her er heller ikke spenningen på

brua gitt, så jeg regner her på to forskjellige spenninger. Valg av andre spenninger på brua ville selvsagt gitt andre verdier.

Bruker det som ble regnet ut i oppgave a)

Det gir ved $U_1=6,0$ V, eller $\pm 3,0$ V: $A=5,00 / 0,587 = 8,5$ ggr

Ved bruk av $U_1=10,0$ V, eller $\pm 5,0$ V: $A=5,00 / 0,978 = 5,1$ ggr

Vi velger en motstand, og regner ut den andre. Velger f.eks $R_4= 1,0$ K Ω

Det gir:

$R_5= R_4 \cdot (A-1) = 1,0 \cdot (8,5-1) \text{ K}\Omega = 7,5 \text{ K}\Omega$

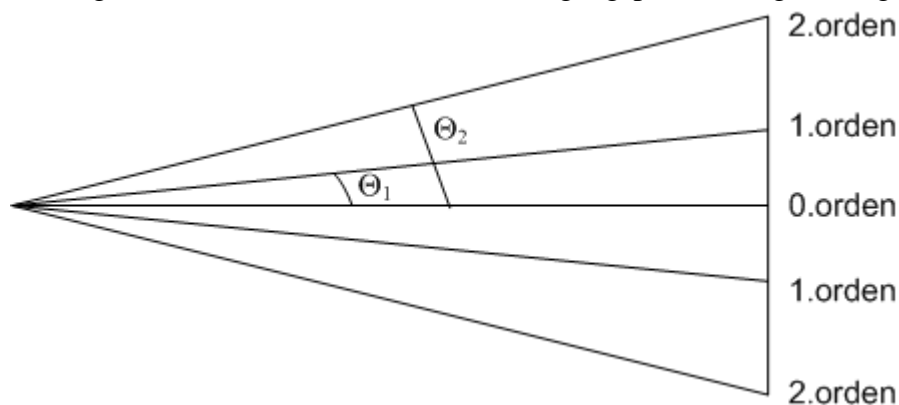
Eller, ved bruk av $U_1= 10,0$ V:

$R_5= R_4 \cdot (A-1) = 1,0 \cdot (5,1-1) \text{ K}\Omega = 4,1 \text{ K}\Omega$

- c) Du skal finne bølgelengden λ på et lys. Du gjør det ved å sende lyset gjennom et gitter, slik at du får et interferensmønster på en skjerm bak gitteret. Anta at avstanden mellom gitteret og skjermen er 2,00 m. Avstanden mellom de to 1.ordens maksima på skjermen er 25,0 cm. Spalteavstanden i gitteret er 0,0100 mm. Hvor stor er bølgelengden λ ?

Bølgelengden λ er gitt av interferensformelen: $d \cdot \sin \theta_n = n \cdot \lambda$

"n" angir hvilken orden det er. Vi kan ta utgangspunkt å følgende figur:



Vinkelen θ_1 kan vi regne ut, da vi vet avstanden fra 0.orden til 1.orden, og avstanden fra gitteret til skjermen:

$$\theta_1 = \tan^{-1}(0,125/2,00) = 3,58^\circ$$

d er gitterkonstanten. Her er $d=0,0100$ [mm] = $1 \cdot 10^{-5}$ [m]

$$\lambda = d \cdot \sin \theta_1 = 1 \cdot 10^{-5} \cdot \sin 3,58^\circ = 624 \text{ [nm]}$$

d) *Et atom kan skrives på formen:*



Hva betyr disse bokstavene?

X er det kjemiske symbol for grunnstoffet.

A er nukleontallet, som er summen av protoner og nøytroner i kjernen.

Z er protontallet, som angir antall protoner i kjernen.

VEDLEGG

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \cdot \frac{A}{l} \quad \text{hvor } \epsilon_0 = 8,8452 \cdot 10^{-12} \text{ F/m,}$$

$$L = \frac{N^2 \mu_r \mu_0 A}{l}$$

$$R = \frac{l}{\mu_r \mu_0 A} \quad \text{hvor } \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m, } l \text{ er lengden, } A \text{ er arealet og } \mu_r \text{ er relativ permeabilitet}$$

Areal av en sirkel : $\pi \cdot r^2$

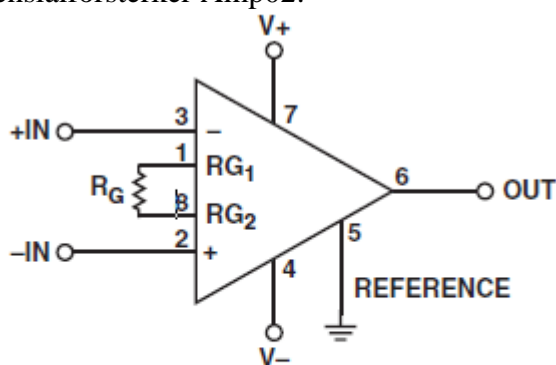
Omkrets av en sirkel: $2 \cdot \pi \cdot r$

Interferensformelen : $d \cdot \sin \theta_n = n \cdot \lambda$

Pt100 tempetursensor:

| -50 °C | -30 °C | -10 °C | 0 °C | 10 °C | 30 °C | 50 °C |
|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 80,31 Ω | 88,22 Ω | 96,09 Ω | 100,00 Ω | 103,90 Ω | 111,67 Ω | 119,40 Ω |

Differensialforsterker Amp02:



$$G = \frac{V_{OUT}}{(+IN) - (-IN)} = \left(\frac{50k\Omega}{R_G} \right) + 1$$

FOR SOL CONNECT SENSE TO OUTPUT

