FASIT UTSETT EKSAMEN VÅREN 2006 SENSORTEORI

Oppg. 1 (25 %)

Ein elastisk pendel har eit lodd med masse 0,20 kg og ei fjør med fjørkonstant 20,0 N/m. Pendelen svingar med amplitude 10 cm.

a) Finn svingetida (perioden) til pendelen.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{20}{0.20}} = 10 \text{ rad/s}$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = 1.54 \text{ Hz} \qquad \text{Periode } T = \frac{1}{f} = 0{,}63 \text{ s}$$

b) Finn største akselerasjon som loddet har.

$$F = -kx \Rightarrow a_{maks} = \frac{F_{maks}}{m} = \frac{-kx_{maks}}{m} = \frac{-20\text{N/m}\cdot 0{,}10\text{m}}{0{,}20\text{kg}} = -10\text{m/s}^2$$

Største akselerasjon er 10 m/s^2

Ei antenne har direktivitet 12 dB. Utstrålt middeleffekt er 2 kW.

c) Finn maksimal elektrisk feltstyrke i fjernfeltet 20 m frå antenna.

Isotrop intensitet: $I_{iso} = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{2{,}0 \text{ kW}}{4\pi (20\text{m})^2} = 0{,}398 \text{ W/m}^2$

Med direktivitet D=12 dB er gain: $G = 10^{\frac{D}{10}} = 15{,}8$

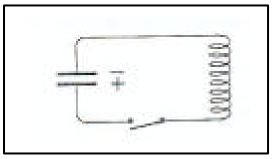
Midt i strålen er middelintensiteten $\bar{I} = G \cdot I_{iso} = 15{,}8 \cdot 0{,}398$ W/m^2=6,3 W/m^2

Effektivverdi for feltstyrken: $E_{eff} = \sqrt{\mu_0 c \bar{I}}$ =48,7 V/m.

Maksimal feltstyrke $E_{maks} = \sqrt{2} \cdot E_{eff} = 69$ V/m

Ein resistans R = 20 Ω , ein spole med induktans L = 0,25 H og ein kondensator med kapasitans C = 47 µF kan brukast (2 og 2 av komponentane) til å lage svingekrets og til å lage lavpassfilter.

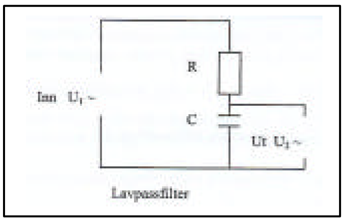
d) Vis koplinga for svingekretsen, rekn ut resonansfrekvensen og forklar kvifor nett denne frekvensen gir resonans.



Resonansfrekvens: $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0{,}25\text{H}\cdot 47 \cdot 10^{-6}\text{F}}} = 46$ Hz

Ved denne frekvensen har spole og kondensator lik impedans og resultantimpedansen blir 0.

e) Vis koplinga for filteret og rekn ut cutoff-frekvensen og responsen ved frekvens *f* = 100 Hz.



Cut-off frekvens: $f_c = \frac{1}{2p RC} = \frac{1}{2p \cdot 20\Omega \cdot 47 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F}} = 169\ \mathrm{Hz}$

Ved 100 Hz: $Z_C = \frac{1}{wC} = \frac{1}{2p \cdot 100\mathrm{Hz} \cdot 47 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F}} = 33{,}8\mathrm{O}$

Respons: $\mathrm{r} = \frac{\mathrm{Z_C}}{\sqrt{\mathrm{R}^2 + \mathrm{Z}_c^{\,2}}} = \frac{33{,}8\Omega}{\sqrt{20^2 + 33{,}8^2}\,\Omega} = 0.86$

Oppg. 2 (25 %)

a) Ein magnetron med 8 resonatorholrom har statisk magnetfelt 0,12 T. Finn radarfrekvensen til magnetronen.

Syklotronfrekvens: $f = \frac{qB}{2p\,m_e} = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C} \cdot 0{,}12\mathrm{T}}{2p \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg}} = 3{,}36\ \mathrm{GHz}$

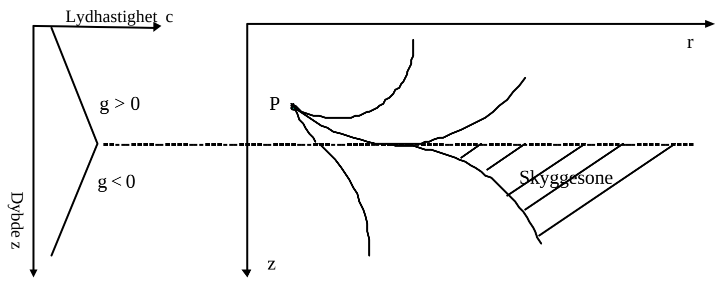
Radarfrekvens: $f_r = 4 \cdot f = 13{,}4\ \mathrm{GHz}$

b) Ein radar sender ut frekvens 4,00 GHz og får refleks frå ein bil som kjem rett mot med fart 30 m/s. Rekn ut beatfrekvensen.

Beatfrekvens: $\Delta f = \frac{2 f_s v}{c} = \frac{2 \cdot 4{,}00 \cdot 10^9\,\mathrm{Hz} \cdot 30\mathrm{m/s}}{3{,}00 \cdot 10^8\ \mathrm{m/s}} = 800\ \mathrm{Hz}$

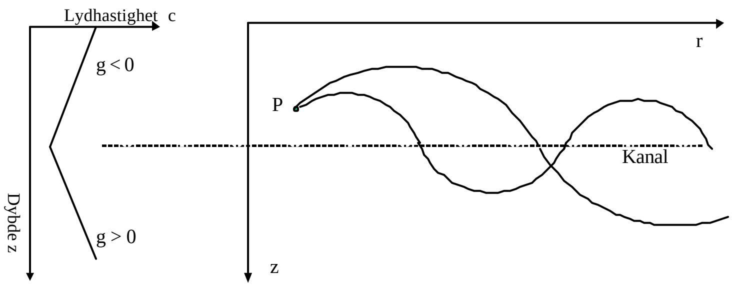
c) Forklar fenomena "skyggesone" og "kanal" for lydstråler i sjøen.

La oss anta at lyden sendes ut fra punktet P. Dersom dette er i nærheten av et maksimum i hastighetsprofilen, vil lydstrålene følge baner slik som vist i figuren nedenfor. Det oppstår en skyggesone som lydbølgen ikke kan nå.



La oss anta at lyden som sendes ut fra punktet P er i nærheten av et <u>minimum</u> i hastighetsprofilen. Lydstrålene vil følge baner slik som vist i figuren nedenfor. To lydstråler er inntegnet.

Det blir etablert en lydkanal som lyden følger.



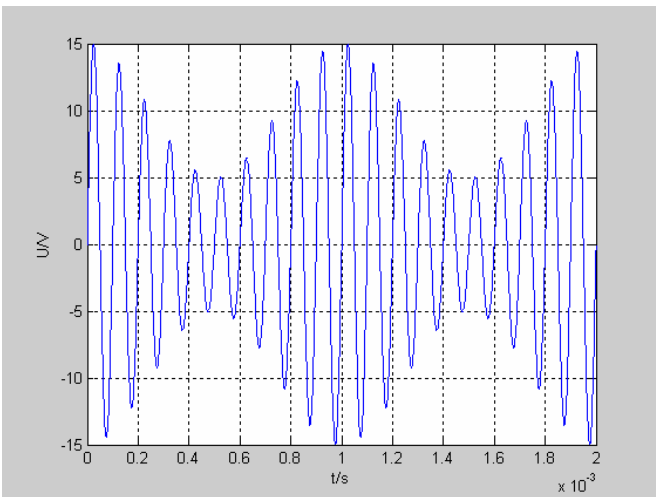
d) Radarstråler blir avbøygd i atmosfæren pga at lysfarten endrar seg oppover i luftlaga. Ved spesielle atmosfæriske forhold kan horisontale radarstråler følgje jordkrumminga. Finn lysfartgradienten i dette tilfellet. Jordradius er 6371 km.

$$R = -\frac{c}{g \cdot \cos q} \Rightarrow g = -\frac{c}{R} = -\frac{3{,}00 \cdot 10^8 m/s}{-6371 \cdot 10^3 m} = 47 \text{ s}^{-1} \text{ når } q = 0$$

Lysfarten aukar med 47 m/s pr m oppover i lufta

e)

Figuren viser 2 ms av eit amplitudemodulert signal $s(t) = 10[1 + 0{,}25m(t)]\sin(w_c t)$ med bærebølgje $c(t) = 10 \sin(w_c t)$ V og modulerande signal $m(t)$=2,0 $\cos(w_m t)$ V .



Finn frekvensen til *c(t)* og til *m(t)* frå figuren og teikn frekvensspektret (amplitudespektret) til *s(t)* med nøyaktige amplituder. (Tips: Bruk formelen for produkt av cos- og sin-funksjon til omforming av uttrykket for *s(t)* til ein sum av sinusfunksjonar.)

Vi ser av figuren at c(t) har 20 svingingar og m(t) har 2 svingingar på 2,0 ms.

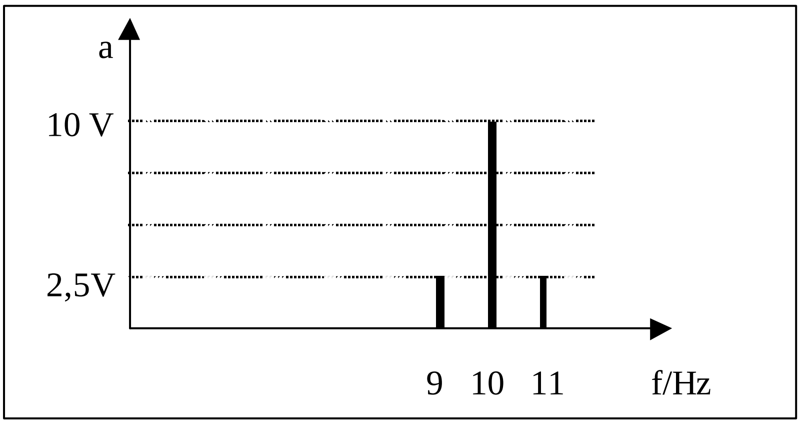
$$f_c = \frac{20}{2{,}0 \cdot 10^{-3} s} = 10 \text{ kHz} \qquad f_m = \frac{2}{2{,}0 \cdot 10^{-3} s} = 1{,}0 \text{ kHz}$$

$$s(t) = 10\text{V}\left[1 + 0,25 \cdot 2,0\cos(w_m t)\right]\sin(w_c t) \ =$$

$$10\text{V}\sin(w_c t) \ + 2,5 \text{ V} \cdot \ 2\cos(w_m t)\sin(w_c t) =$$

$$10\text{V}\sin(w_c t) \ + 2,5 \text{ V} \cdot \ [\sin(w_c + w_m)t + \sin(w_c - w_m)t]$$

Vi får 10 kHz med amplitude 10 V, og 11 kHz og 9 kHz med amplitude 2,5 V



Oppgave 4

a) (i) Høyrehåndsregelen (utstrakte fingre i strømmens retning, bøyde fingre i magnetfeltets retning, tommel i kraftens retning): Den høyre sidekanten av ledersløyfen påvirkes av en kraft $\underline{\underline{\text{mot høyre}}}$. (Kreftene på øvre og nedre del opphever hverandre.)

(ii) $F = I\ell B = 2{,}0\ \text{A} \cdot 0{,}80\ \text{m} \cdot 0{,}15\ \text{T} = \underline{\underline{0{,}24\ \text{N}}}$.

b) (i) Fluksen *inn i* papirplanet *øker* $\overset{\text{Lenz' regel}}{\Rightarrow}$ indusert spenning bidrar til fluks *ut av* papirplanet, dvs. $\underline{\underline{\text{mot urviseren}}}$ (den andre høyrehåndsregelen).

Eller: Fluksen inn i papirplanet gir positiv retning med urviseren (h.h.regelen). Fluksen Φ øker, dvs. spenningen $e = -\Phi'(t)$ er negativ, dvs. mot urviseren.

Eller: Positive ladninger i høyre sidekant blir påvirket av en kraft oppover.

(ii) $|e| = \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \dfrac{B\Delta A}{\Delta t} = \dfrac{B\ell\Delta s}{\Delta t} = B\ell v = 0{,}15\ \text{T} \cdot 0{,}80\ \text{m} \cdot 0{,}90\ \text{m/s} = 0{,}108\ \text{V}$,

$I = \dfrac{U}{R} = \dfrac{0{,}108\ \text{V}}{0{,}060\ \Omega} = \underline{\underline{1{,}8\ \text{A}}}$.

c) (i) (Virtuelt og forminsket bilde.)

(ii) $\dfrac{1}{a} + \dfrac{1}{b} = \dfrac{1}{f}$, $b = \dfrac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{a}} = \dfrac{1}{\frac{1}{-5{,}0\ \text{cm}} - \frac{1}{20\ \text{cm}}} = \underline{\underline{-4{,}0\ \text{cm}}}$, $m = -\dfrac{b}{a} = -\dfrac{-4{,}0}{20} = \dfrac{1}{\underline{\underline{5}}}$.

(iii) $m = \dfrac{y'}{y}$, $y' = m\,y = \frac{1}{5} \cdot 15\ \text{cm} = \underline{\underline{3{,}0\ \text{cm}}}$.

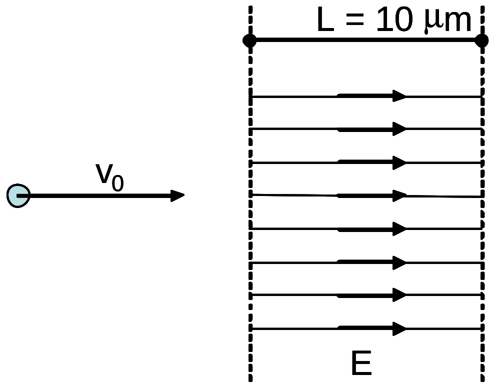
d) (i) $T = (15 + 273{,}15)\ \text{K} = 288{,}15\ \text{K}$, $l_{\text{topp}} = \dfrac{a}{T} = \dfrac{2{,}90 \cdot 10^{-3}\ \text{K m}}{288{,}15\ \text{K}} = 1{,}0 \cdot 10^{-5}\ \text{m} = \underline{\underline{10\ \mu\text{m}}}$.

(ii) $\dfrac{U_2}{U_1} = \dfrac{sT_2^4}{sT_1^4} = \left(\dfrac{T_2}{T_1}\right)^4 = \left(\dfrac{303{,}15\ \text{K}}{288{,}15\ \text{K}}\right)^4 = 1{,}052^4 = 1{,}225$, altså $\underline{\underline{22{,}5\ \%}}$.

e) Stikkord: lysforsterkning (reflektert lys, fotokatode, mikrokanalplate, fosforskjerm), termisk avbildning (emittert infrarød stråling, varmestråling), kjøling, oppløsning.

Oppg.3 (25 %)

a)



Kraft og akselerasjon:

$$F = |q|E = \underline{\underline{1.47 \cdot 10^{-14}\, N}}$$

$$a = \frac{F}{m} = \underline{\underline{1.62 \cdot 10^{16}\, m/s^2}}$$

Beregner hvor langt elektronet kan gå i feltet før det (eventuelt) stopper:

$$v^2 - v_0^2 = 2as; \quad v = 0; a = -1.62 \cdot 10^{16}\, m/s^2$$

$$s = \frac{-v_0^2}{2a} = 1.24 \cdot 10^{-6}\, m = 1.24\, mm$$

$$s < L$$

Det betyr at elektronet ikke kan passere feltet med så lav startfart.

b)

Stikkord, sperresjikt: Ioneladninger som skaper et elektrisk felt, hull og elektroner som ikke greier å passere feltet.

Stikkord, likeretting: Svekking av feltet i lederetning, styrking av feltet i sperreretning.

c)

Elektronstrøm: Nesten frie elektroner som strømmer gjennom krystallen.

Hullstrøm: Elektroner i bindinger som hopper inn i ledige bindinger i naboatomer. Etterlater seg et hull som kan fylles av andre elektroner osv.

d)

For at krystallen skal kunne være en sensor, så må fotonene ha nok energi til å rive elektronene ut av bindingene slik at ledningsevnen endres.

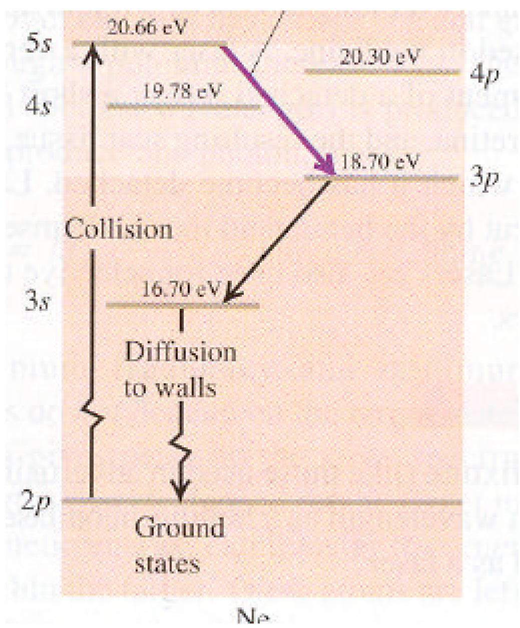
$$hf > \Delta E$$

$$\frac{hc}{l} > \Delta E$$

$$l < \frac{hc}{\Delta E} = 1.1 mm$$

Kravet er oppfylt for synlig lys, men ikke for radarbølger.

e)



$$\Delta E = 20.66 eV - 18.7 eV = 1.96 eV = 3.14 \cdot 10^{-19}\, J$$

$$hf = \Delta E \Rightarrow l = \frac{hc}{\Delta E} = \underline{\underline{634 nm}}$$

$$\text{Antall fotoner per sekund: } N = \frac{\text{effekt}}{\text{fotonenergi}} = \underline{\underline{9.57 \cdot 10^{15}\, s^{-1}}}$$