

SJØKRIGSSKOLEN
Tirsdag 18.05.10

FRAMSKUTT EKSAMEN VÅREN 2010

SENSORTEORI

Klasse OM2

Tillatt tid: 6 timer

Hjelpemidler: Tabeller i fysikk for den videregående skole
Formelsamling i matematikk for den videregående skole
Kalkulator

Antall oppgaver: 4

Vedlegg: Formelsamling

Vektlegging er angitt i % på hver oppgave.

Jan R. Lien
Sensor

Harald Totland
Lærer

Lars Olav Tveita
Lærer

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.
- b) Finn største akselerasjon som loddet har.

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

- c) Finn maksimal elektrisk feltstyrke i fjernfeltet 20 m frå antenna.
- d) Kva meiner vi med omgrepet SAR-verdi? Kva er samanhengen mellom temperaturouke og SAR-verdi?

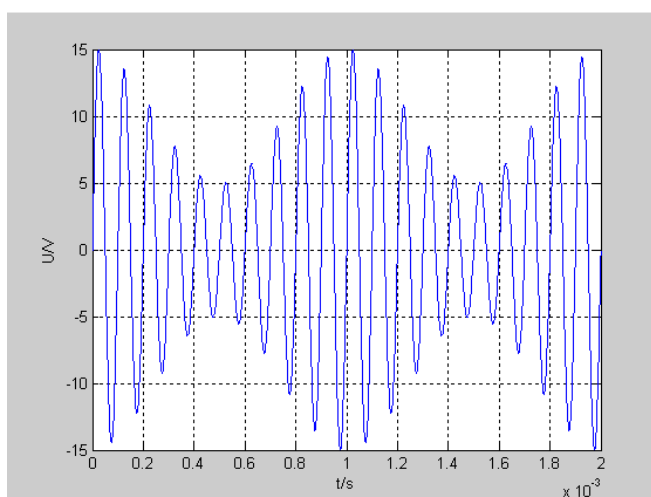
Ein resistans $R = 20 \Omega$, ein spole med induktans $L = 0,25 \text{ H}$ og ein kondensator med kapasitans $C = 47 \mu\text{F}$ kan brukast (2 og 2 av komponentane) til å lage svingekrets og til å lage lavpassfilter.

- e) Vis koplinga for svingekretsen, rekn ut resonansfrekvensen og forklar kvifor nett denne frekvensen gir resonans.
- f) Vis koplinga for filteret og rekn ut cutoff-frekvensen og responsen ved frekvens $f = 100 \text{ Hz}$.

Oppg. 2 (25 %)

- a) Ein magnetron med 8 resonatorholrom har statisk magnetfelt 0,12 T. Finn radarfrekvensen til magnetronen.
- 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.
- c) Forklar fenomenen "skyggesone" og "kanal" for lydstråler i sjøen.
- 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.

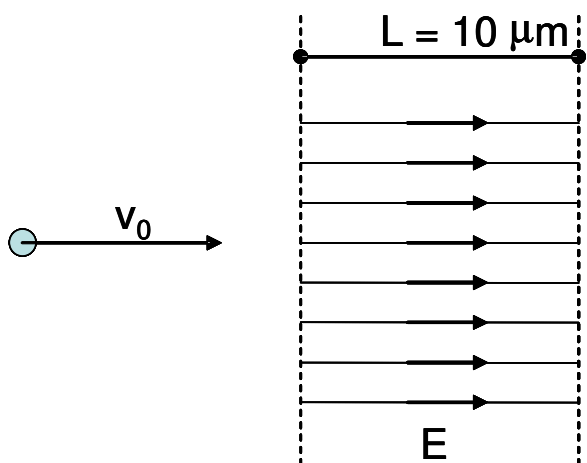
Figuren viser 2 ms av eit amplitudemodulert signal $s(t) = 10[1 + 0,25m(t)]\sin(\omega_c t)$ med bæreølge $c(t) = 10 \sin(\omega_c t)$ V og modulerande signal $m(t) = 2,0 \cos(\omega_m t)$ V.



- e) 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.)
- f) Skisser graf av 1 sekund av eit sinussignal med frekvens 2,0 Hz og amplitude 1,0 V. Signalet blir sampla (digitalisert) med samplingsfrekvens 3,0 Hz. Vis samplingspunkta og fin frekvensen til det digitale signalet.

Oppg. 3 (25%)

- a) Et elektron er i et elektrisk felt med feltstyrke $E = 9,2 \cdot 10^4$ N/C . Beregn den elektriske kraften og elektronets akselerasjon.

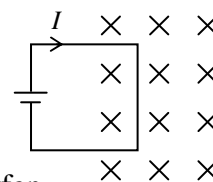


Tegningen viser et elektrisk felt med den gitte feltstyrken og med utstrekning $L = 10 \mu\text{m}$. Feltet antas å være homogent mellom de stiplede linjene mens det er null utenfor.

Et elektron med hastighet $v_0 = 2,0 \cdot 10^5$ m/s beveger seg inn i feltet.

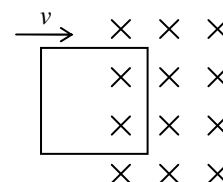
Gjør beregninger som viser om elektronet kan passere feltet og komme over på motsatt side av feltet.

- b) En kvadratisk ledersløyfe med sidekant 80 cm fører en strøm på 2,0 A i urviserens retning (sett ovenfra). Den høyre delen av ledersløyfen befinner seg i et homogent magnetfelt på 0,15 T som har retning vinkelrett på ledersløyfen (inn i papirplanet på figuren).



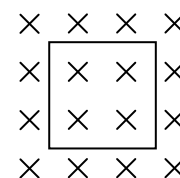
- (i) Forklar hvordan du finner retningen til kraften som påvirker ledersløyfen.
(ii) Finn verdien av denne kraften.

- c) En kvadratisk ledersløyfe med sidekant 80 cm ligger først i ro uten at det går strøm i den. Den høyre delen av ledersløyfen befinner seg i et konstant magnetfelt på 0,15 T som har retning vinkelrett på sløyfen. Den blir deretter beveget mot høyre med 0,90 m/s.



- (i) Forklar hvordan du finner retningen til den induserte strømmen i ledersløyfen.
(ii) Finn verdien av den induserte strømmen dersom sløyfen har resistans 0,060 Ω .

- d) En kvadratisk ledersløyfe med sidekant 80 cm ligger i ro i et magnetfelt som har retning vinkelrett på sløyfen. I løpet av tiden $\Delta t = 0,020$ s avtar den magnetiske flukstettheten jevnt fra 0,15 T til 0,05 T.



- (i) Forklar hvordan du finner retningen til den induserte spenningen i sløyfen.
(ii) Finn verdien av den induserte spenningen.

- e) To positive og like store ladninger, $Q_1 = Q_2 = 10$ nC , er plassert 3,0 cm fra hverandre. Punktet P ligger 1,0 cm fra Q_1 og 2,0 cm fra Q_2 . Finn verdi og retning for det elektriske feltet i P .



- f) En partikkel med masse m og ladning q beveger seg med fart v i et homogent magnetfelt B . Partikkelen går i en sirkelbane vinkelrett på de magnetiske feltlinjene. Vis at sirkelbanen har radius $r = \frac{mv}{qB}$.

Oppg. 4 (25 %)

- a) I halvledere skiller en mellom elektronstrøm og hullstrøm. Hva er forskjellen?
- b) Gjør rede for sperresjiktet i en diode. Forklar hvordan dioden likeretter vekselstrøm.
- c) Forklar hvordan en fotodiode (foto-voltaisk celle) virker, og gi et eksempel på anvendelse.
- d) I en halvlederkrystall av silisium trengs en energi $\Delta E = 1,12$ eV for å rive elektroner ut av bindingene. Undersøk om en slik krystall kan være sensor for
- synlig lys.
 - radarbølger med bølgelengde 3,0 cm.
- e) En spredelinse med brennvidde $-5,0$ cm blir brukt til å danne et bilde av et objekt som befinner seg 20 cm fra linsen.
- (i) Tegn strålegangen. Hva slags bilde blir dannet?
 - (ii) Hvor langt fra linsen havner bildet, og hva blir forstørrelsen?
 - (iii) Hvor høyt blir bildet hvis objektet er 15 cm høyt?
- f) En gjenstand har overflatetemperatur 40 °C .
- (i) Finn bølgelengden for maksimum i den termiske strålingen fra gjenstanden.
 - (ii) Hvor mange prosent større er strålingsintensiteten fra denne gjenstanden enn fra en med temperatur -10 °C ?

Formelsamling Sensorteori ON1 og OM2

Elastisk system:

$$F = kx[N] \quad k = \text{fjørerkonstant} \left[\frac{N}{m} \right] \quad E_p = \frac{1}{2} kx^2[J] \quad \text{Vinkelfart} \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \left[\frac{\text{rad}}{s} \right]$$

$$\text{Utslag: } x(t) = A \sin(\omega t + \theta) [m] \quad \text{Fart: } v(t) = x'(t) \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Akselerasjon: } a(t) = v'(t) \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Svingingar og bølger:

$$f = \frac{1}{T} [\text{Hz}] \quad \omega = 2\pi f \left[\frac{\text{rad}}{s} \right] \quad \omega = \frac{\varphi}{t} \left[\frac{\text{rad}}{s} \right] \quad c = \lambda f \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$\text{Bølgjefunksjon: } y(x, t) = y_m \sin(\omega t - kx) \quad \text{Bølgjetal } k = \frac{2\pi}{\lambda} \left[\frac{\text{rad}}{m} \right]$$

$$\text{Brytningslov: } \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2} \quad n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 \quad \text{Brytningsindeks: } n = \frac{c_0}{c}$$

$$\text{Brytning i lagdelt struktur: } \frac{\cos \theta}{c} = \text{konstant}$$

$$\text{Fartsgradient: } g = \frac{dc}{dz} \left[\frac{m/s}{m} \right] \quad \text{Krumningsradius for stråle: } R = \frac{c}{g \cdot \cos \theta} [m]$$

$$\text{Interferens: } d \sin \theta = n\lambda \quad \text{Interferens med fase: } d \sin \theta = \left(n + \frac{\phi}{2\pi} \right) \lambda$$

$$\text{Dopplereffekt for e.m. bølger: } f_L = \sqrt{\frac{c-v}{c+v}} f_s \approx \left(1 - \frac{v}{c} \right) f_s \text{ når } v \ll c$$

$$\text{Forteikn for v: Positiv v når avstand aukar. Ved refleksjon } \Delta f \approx \frac{-2v}{c} f_s \text{ når } v \ll c$$

$$\text{Dopplereffekt for mekaniske bølger: } \frac{f_L}{c + v_L} = \frac{f_s}{c + v_s} \quad \text{Forteikn for v: } L \Rightarrow + \quad S$$

Geometrisk optikk:

$$\text{Linseformelen: } \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

$$\text{Lineær forstørrelse: } m = \frac{y'}{y} = -\frac{b}{a}$$

Elektrisk felt:

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|qQ|}{r^2} [N] \quad E = \frac{F_e}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \left[\frac{N}{C} \right] \quad \text{Dielektrisitetskonstant } \epsilon = k\epsilon_0$$

$$\text{Homogent felt: } E = \frac{U}{d} \left[\frac{V}{m} \right]$$

$$\text{Kondensator: Kapasitans } C = \frac{Q}{U} [F] \quad C = \epsilon \frac{A}{d} [F] \quad \text{Energi: } E = \frac{1}{2} CU^2 [J]$$

Magnetfelt:

Kraft på strømførende leder: $\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$ Kraft på ladning: $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$

Flukstetthet rundt uendeleg leder: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ [T] Flukstetthet i spole: $B = \mu_0 \frac{NI}{l}$ [T]

Energi i spole: $E = \frac{1}{2} LI^2$ [J]

Magnetisk permeabilitet: $\mu = k_m \mu_0$ Magnetisk fluks: $\Phi = B_{\perp} A$ [Wb]

Syklotron vinkelfart $\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$

Induksjon:

Indusert spenning: $\mathcal{E} = vBl$ [V] $\mathcal{E} = -\dot{\Phi}$ [V] $\mathcal{E} = -L \frac{di}{dt}$ [V] Induktans: L [H]

Elektromagnetisk svinging og elektromagnetiske bølger:

Vekselstrømkrets: $U(t) = U_m \sin(\omega t)$ [V] $I_C(t) = I_{Cm} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$ [A] $I_L(t) = I_{Lm} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$ [A]

Reaktans: $Z_L = \omega L$ [Ω] $Z_C = \frac{1}{\omega C}$ [Ω] Impedans $Z = \sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2}$ [Ω] $I_m = \frac{U_m}{Z}$ [A]

Resonans i svingekrets: $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ [$\frac{\text{rad}}{\text{s}}$] Effektivverdi: $U_{\text{eff}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ [V] $I_{\text{eff}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ [A]

Lysfart: $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$ Poyntings vektor: $\vec{P} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$ Intensitet: $I = |\vec{P}| = \frac{1}{\mu_0} EB$ [$\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$]

Fjernfeltet: $r > \frac{\lambda}{2\pi}$ I fjernfeltet: $E = cB$

Middelintensitet: $\bar{I} = |\bar{\vec{P}}| = \frac{E_{\text{eff}}^2}{\mu_0 c}$ [$\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$] $\bar{I} = \frac{I_{\text{maks}}}{2}$

SAR = $\frac{\sigma E_i^2}{\rho}$ [$\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$]

Temperatúrauke: $\Delta T = \frac{\text{SAR} \cdot t}{c}$ [K] $c = \text{spesifikk varmekapasitet}$ [$\frac{\text{J}}{\text{kgK}}$] $t = \text{tid}$ [s]

Signalbehandling:

$$\text{Fourier-rekke: } x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k \sin(2\pi k f_0 t + \theta_k)$$

$$\text{Filterrespons: } r = \frac{\text{Amplitude ut}}{\text{Amplitude inn}} \quad \text{Lavpass: } r = \frac{Z_c}{\sqrt{R^2 + Z_c^2}} \quad \text{Høypass: } r = \frac{R}{\sqrt{R^2 + Z_c^2}}$$

$$\text{Cut-off-frekvens for RC-filter: } f_c = \frac{1}{2\pi RC} [\text{Hz}]$$

$$\text{Amplitudemodulasjon: } s(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \sin(2\pi f_c t)$$

$$\text{Fasemodulasjon: } s(t) = A_c \sin[2\pi f_c t + k_p m(t)]$$

$$\text{Frekvensmodulasjon: } s(t) = A_c \sin[2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(t) dt]$$

$$\sin(\omega_1 t) + \sin(\omega_2 t) = 2 \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t\right) \cdot \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t\right) \quad f_{\text{beat}} = |f_1 - f_2|$$

$$2 \cos(\omega_2 t) \cdot \sin(\omega_1 t) = \sin((\omega_1 - \omega_2)t) + \sin((\omega_1 + \omega_2)t)$$

$$\text{Krysskorrelasjon: } \psi_{xy}(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) y(t + \tau) dt$$

$$\text{Duty cycle: } d.c. = \frac{\text{pulslengde}}{\text{pulsrepetisjonperiode}} = \frac{\tau}{PRF}$$

$$\text{Midleffekt: } P_m = P_{\text{puls}} \cdot d.c. [\text{W}]$$

Intensitetsfordeling

$$\text{Desibelskala: } P_{dB} = 10 \log \frac{P}{P_0} \quad P = P_0 \cdot 10^{\frac{P_{dB}}{10}} [\text{W}]$$

$$\text{Intensitet: } I = \frac{P}{A} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad \text{Isotrop: } I_{\text{iso}} = \frac{P}{4\pi r^2} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\text{Forsterking (gain): } G = \frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{iso}}} \quad \text{Direktivitet: } D = G_{dB} = 10 \log \frac{I_{\text{maks}}}{I_{\text{iso}}}$$

$$\text{Strålebreidde: } \theta_{3dB} = k \frac{\lambda}{b} [^\circ] \quad \text{der } k=50^\circ - 80^\circ \text{ avh. av belsningsfunksjon,}$$

b=antennebreidde(el. høgde)

Konstanter:

$$\text{Planck-konstanten} \quad h = 6,62618 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$\text{Boltzmann-konstanten} \quad k = 1,38066 \cdot 10^{-23} \text{ J / K}$$

$$\text{Elementærladningen} \quad e = 1,602189 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$\text{Lysfart i vakum} \quad c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m / s}$$

$$\text{Dielektr.konst. for vakum} \quad \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C / Vm}$$

$$\text{Permeabiliteten i vakum} \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm / A}$$

$$\text{Elektronmassen} \quad m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$