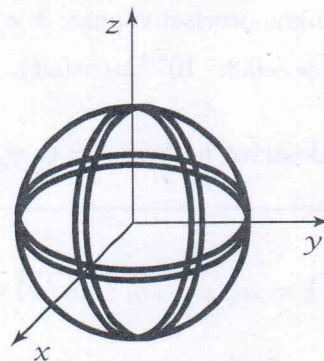


Ratkaise valintasi mukaan neljä seuraavista viidestä tehtävästä

1. Matalataajuisten magneettikenttien mittaamiseksi on tehty oheinen induktioon perustuva mittalaite, joka muodostuu kolmesta kohtisuorasta ympyränmuotoisesta xy -, yz ja zx -tasossa sijaitsevasta 2-kierroksisesta johdinkelasta. Jokaisen silmukan pinta-ala $S = 4.0 \text{ cm}^2$ ja keloihin indusoituva sähkömotorinen voima mitataan ajan funktiona. Mittausjärjestelyssä silmukoiden pintojen normaalit on valittu positiivisten koordinaattiakseleiden suuntaisiksi. Laske, mikä on kunkin kelan sähkömotorinen voima ajan hetkellä $t = 0 \text{ s}$, kun mittalaite asetetaan magneettikenttään



$$\vec{B}(t) = (\bar{u}_x 0.6 - \bar{u}_y 0.2 + \bar{u}_z 0.1) \sin(\omega t) \quad [\text{T}]$$

ja $\omega = 1500 \text{ rad/s}$. Kelat on eristetty toisistaan sivuamiskohdissa.

2. Linearisesti polarisoituneen $+z$ -akselin suuntaan etenevän tasoallon sähkökenttä on kohdassa $z = 0$ ajan funktiona muotoa:

$$\vec{E}(z = 0, t) = \bar{u}_x E_0 \sin(\omega t - \phi)$$

missä amplitudi $E_0 = 150 \text{ V/m}$ ja vaihesiirto $\phi = \pi/3$. Tasoallon taajuus on $f = 5.0 \text{ GHz}$ ja se etenee merivedessä, jonka $\epsilon_r = 80$ ja $\sigma = 4.0 \text{ S/m}$. Laske a) etenemis- ja vaimennuskertoimet, β ja α sekä b) aallonpituus λ . c) Missä kohdassa, ($z = ?$), sähkökentän amplitudi on 15 V/m ? d) Kirjoita sähkökenttää vastaava kompleksivektori (osoitin), $\vec{E}(z)$.

3. Tasoaalto tulee ilmasta kohtisuoraan häviöllisen aineen ($\epsilon_r = 2.7 - j0.3$) taserajapintaan. a) Mikä suhteellinen (kompleksinen) permeabilisuus täytyy aineella olla, jos heijastuskertoimen arvo on $R = -0.2$. b) Laske pinnasta mitattu etäisyys d , jolla häviöllisessä aineessa etenevän kentän tehotiheys on enää 5% tulevan kentän tehotiheydestä. Taajuus on 600 MHz .

4. Ohjattujen aaltojen sähkökentät voidaan esittää muodossa: $\vec{E}(x, y, z) = \vec{E}_0(x, y) e^{-j\beta z}$. Miten koaksiaalikaapelin ja suorakulmaisen aaltoputken kentät eroavat toistaan $\vec{E}_0(x, y)$:n, β :n, aallonpituuden, toimintaajuuden, vaihenopeuden osalta ja impedanssin suhteen? Vastaa lyhyesti ranskalaisin viivoin ja voit tarvittaessa tarkentaa vastaustasi kaavoin.

5. 1.8 GHz :n taajuudella toimivan matkapuhelinverkon tuki- ja toistinaseman välinen etäisyys $d = 0.2 \text{ km}$. Tukiaseman lähetysteho on 20 W ja sen antennivahvistus toistimen suuntaan on 12 dB . Mikä täytyy olla toistinaseman antennin vahvistus tukiasemaan päin (desibeleinä), jos tukiaseman lähetyksestä vastaanotetaan $15 \mu\text{W}$:n teho. Antennin vahvistuksen ja sieppauspinnan välinen yhteys on

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} G$$

- Laske jokainen tehtävä eri konseptille tentin tarkastamisen nopeuttamiseksi
- Tentissä saa käyttää laskinta
- Muista antaa kurssipalautteesi: <http://paleute.ee.hut.fi>
- Hyvää Joulua!

1. Kelojen käämivuot: $\Lambda_x = 2B_x(t)S = 4.8 \cdot 10^{-4} \sin(\omega t)$, $\Lambda_y = 2B_y(t)S = -1.6 \cdot 10^{-4} \sin(\omega t)$,
 $\Lambda_z = 2B_z(t)S = 0.8 \cdot 10^{-4} \sin(\omega t)$

Sähkömotoriset voimat: $\phi = -\frac{\partial}{\partial t} \Lambda \implies \phi_x = -4.8 \cdot 10^{-4} \omega \cos(\omega t)$, $\phi_y = 1.6 \cdot 10^{-4} \omega \cos(\omega t)$,
 $\phi_z = -0.8 \cdot 10^{-4} \omega \cos(\omega t)$.

Lukuarvot hetkellä $t = 0$: $\phi_x = -0.72 \text{ V}$, $\phi_y = 0.24 \text{ V}$, $\phi_z = -0.12 \text{ V}$

2. a) $k = \omega \sqrt{\mu_0(\epsilon_r \epsilon_0 - j\sigma/\omega)} \approx 940 - j841 \text{ /m}$. $\beta \approx 940 \text{ 1/m}$, $\alpha \approx 841 \text{ 1/m}$.

b) $\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \approx 0.67 \text{ cm}$

c) $\bar{E}(z, t) = \bar{u}_x E_0 e^{-\alpha z} \sin(\omega t - \beta z - \phi)$. $E_0 e^{-\alpha z} = E_0/10 \implies z = \ln(10)/\alpha \approx 2.7 \text{ cm}$

d) $\bar{E}(z) = -j\bar{u}_x E_0 e^{-\alpha z - j\beta z - j\phi}$

3. a) $R = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} \implies \eta_2 = \eta_1 \frac{1+R}{1-R} = \frac{2}{3} \eta_1 \implies \mu_r = \frac{4}{9} \epsilon_r \approx 1.2 - j0.133$

b) Tulevan kentän tehottiheys $|\langle S_i \rangle| = \frac{|E_0|^2}{2\eta_1}$. Läpäisseen kentän tehottiheys: $|\langle S_t \rangle| =$

$\frac{|TE_0|^2}{2\eta_2} e^{-2\alpha z}$, $T = 1 + R = 0.8 \implies \frac{|\langle S_t \rangle|}{|\langle S_i \rangle|} = |T|^2 \frac{\eta_1}{\eta_2} e^{-2\alpha z}$.

$k_2 = 2\pi f \sqrt{(4/9)(2.7 - j0.3)^2 \mu_0 \epsilon_0} \approx 22.6 - j2.51 \text{ 1/m} \implies \alpha \approx 2.51 \text{ 1/m}$

Tehottiheys etäisyydellä d : $0.8^2 \frac{3}{2} e^{-5.02d} = 0.05 \implies d \approx 0.6 \text{ m}$

- 4.
- Koaksiaalikaapelin \bar{E}_0 aina kohtisuorassa etenemissuuntaa vastaan. Aaltoputkessa TM-muodoilla \bar{E}_0 -lla aina etenemissuuntainen komponentti
 - Koaksiaalikaapelin TEM-muodon $\beta = \omega \sqrt{\mu \epsilon}$. Aaltoputken $\beta = \sqrt{k^2 - k_c^2}$. Etenemis-kerroin samassa aineessa samalla taajuudella aina suurempi TEM-muodolla
 - Koaksiaalikaapelin TEM-muodot etenevät kaikilla taajuuksilla. Aaltoputken kaikilla aaltomuodoilla katkootaajuus f_{cmm} , jota pienemmillä taajuuksilla ne eivät etene
 - Vaihenopeus $v = \omega/\beta$. Se on koaksiaalikaapelin TEM-muodolla pienempi kuin millään aaltoputken muodolla
 - Koaksiaalikaapelissa $\lambda = 2\pi/k$ ja aaltoputkessa $\lambda_g = 2\pi/\beta$. $\lambda_g > \lambda$
 - $Z_{TM} < Z_{TEM} < Z_{TE}$

5. Friisin kaava: $\frac{P_2}{P_1} = G_1 G_2 \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \implies G_2 = \frac{P_2}{G_1 P_1} \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2$

$G_1 = 12 \text{ dB} \hat{=} 10^{1.2} \approx 15.8$. $\lambda = c/f \approx 0.167 \text{ m}$. $\implies G_2 \approx 10.8 \hat{=} 10.3 \text{ dB}$