

Tentamen

Vektorfält och elektromagnetisk fältteori, EEN190

Tid:	2025-06-11, kl. 8:30-13:30
Hjälpmedel:	Physics Handbook Beta Mathematics Handbook Typgodkänd kalkylator Formelsamlingar i vektorfält och elektromagnetisk fältteori. Inga andra anteckningar är tillåtna.
Förfrågningar:	Andreas Fhager
Lösningar:	Anslås på kursens hemsida senast första vardagen efter tentan.
Resultatet:	Distribueras via LADOK.
Granskning:	Plats och tid annonseras på kurshemsidan.
Om rättningen:	Svar och lösningar skall motiveras och förklaras. Skriv tydligt och förklara vad ni gör i er lösning och vilken metod som används. Poängavdrag görs för otydliga figurer och lösningar samt lösningar som inte förklaras eller motiveras. Mindre allvarliga fel och rena räknefel leder till mindre avdrag. Mer allvarliga, principiella fel och metodfel leder till större avdrag. Poängavdrag görs även för utelämnade referensriktningar, dimensionsfel och uppenbart orimliga svar.
Betygsgränser:	Betyg 3: Totalt 36, varav ≥ 21 på problemdelen och ≥ 8 på teorin Betyg 4: Totalt 48, varav ≥ 26 på problemdelen och ≥ 10 på teorin Betyg 5: Totalt 60, varav ≥ 31 på problemdelen och ≥ 12 på teorin

Lycka till!

1 (Vektorfält)

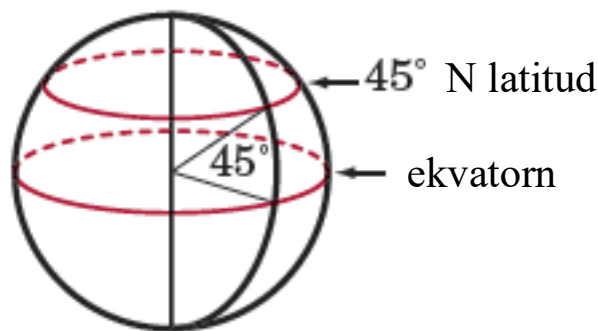
Problemlösning (12 poäng)

- a. Hur stor andel av jordens yta ligger norr om latitudlinjen 45° N? Din lösning ska innehålla en beräkning av ytan norr om latitudlinjen 45° N mha en ytintegral. (4p)
- b. Visa följande räkneregler, $\mathbf{a}$, $\mathbf{b}$ och $\mathbf{c}$ är vektorer, $\mathbf{u}$ är ett vektorfält. Gör beräkningarna med hjälp av indexnotation. (4p)

1. $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} \times \mathbf{c} = \mathbf{b} \cdot \mathbf{c} \times \mathbf{a}$
2. $\nabla \cdot \nabla^2 \mathbf{u} = \nabla^2 \nabla \cdot \mathbf{u}$

- c. Visa att följande uttryck är uppfyllt för varje sluten slinga C där $\mathbf{r}$ är Ortsvektorn (4p):

$$\oint_C \mathbf{r} \cdot d\mathbf{r} = 0$$



2 (Elektrostatik)

Problemlösning (8 poäng)

Två punktladdningar $q_1 = +q$ och $q_2 = -q$ är placerade vid $x_1 = (-1, 0, 0)$ m respektive $x_2 = (1, 0, 0)$ m.

I planet $x = 0$ (y-z-planet) finns en i rummet konstant ytladdningstäthet σ .

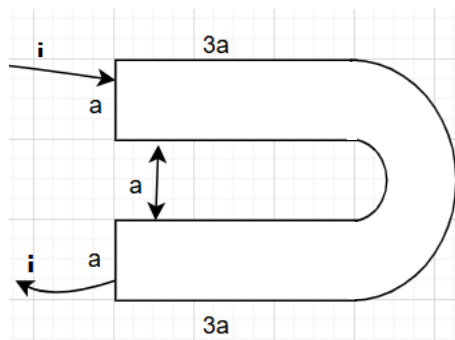
Givet att $q = 10^{-3}$ C och att det elektriska fältet i punkten $x_3 = (2, 0, 0)$ m är noll, beräkna:

- a) Ytladdningstätheten σ . (4 poäng)
- b) Arbetet som utförs av den elektrostatiska kraften för att föra en laddning $q_0 = 10^{-4}$ C från punkten x_3 till punkten $-x_3$ på motsatta sidan av planet $x = 0$. (4 poäng)

3 (Magnetostatik)

Problemlösning (8 poäng)

Beräkna en approximativ resistans hos objektet i figuren med hjälp av så kallade "strömrör" om strömmen leds genom objektet enligt figuren. Objektet är en U-formad plåt som har tjockleken d och konduktiviteten σ . Ger beräkningen en övre eller undre uppskattning av den verkliga resistansen? Motivera kortfattat.



4

Problemlösning (8 poäng)

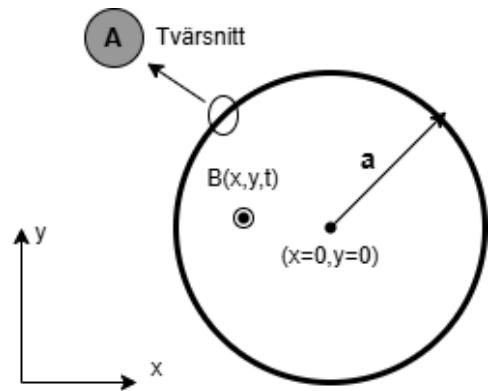
I en cirkulär slinga, bestående av en tråd som är formad som en cirkel, med radie a och som har tvärsnittsarea

$A = 0.01 \text{ mm}^2$ finns ett magnetiskt fält $B(x, y, t) = (x^2 + y^2 + 1) \cos(\omega t) \text{ T}$.

med riktning enligt bilden.

Antag att slingan har sin centrumpunkt i origo ($x=0, y=0$) och att materialet i tråden är aluminium med resistivitet $\rho = 2,65 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$.

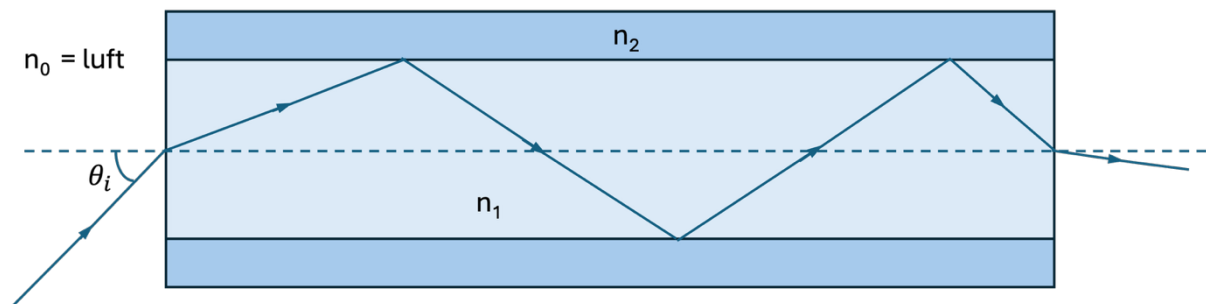
Beräkna ett uttryck för det maximala beloppet av den inducerade strömmen i slingan.



5

Problemlösning (8 poäng)

En dielektrisk stav, eller fiber, kan användas för att överföra ljus eller elektromagnetiska vågor genom att utnyttja fenomenet med totalreflektion. Staven är täckt av ett material med brytningsindex $n = n_2$. Bestäm största möjliga brytningsindex n_2 , så att en våg som propagerar in i staven/fibern vid ena änden kan göra det med godtycklig vinkel θ_i och ändå vara helt innesluten i staven/fibern tills vågen lämnar staven/fibern i andra änden. Det slutgiltiga uttrycket får ej innehålla några vinklar.



6

Problemlösning (8 poäng)

En Hertzdipol som beskrivs med det komplexa dipolmomentet $\mathbf{p} = p_0 \cos(\omega t) \hat{z}$ är placerad i origo.

- Bestäm tidsmedelvärdet av Poyntingvektorn som funktion av de sfäriska koordinaterna r och θ i dipolens fjärrfältszon. Utgå från ekvationerna i formelsamlingen för $\mathbf{E}$ - och $\mathbf{H}$ -fälten i fjärrfältet. (4p)
- Ett ledande plan placeras nu i xy -planet, vid $z = 0$, och dipolen placeras på en höjd a över planet. Dipolmomentet ligger fortfarande i $\hat{z}$ -riktningen. Utgå från ekvationerna i formelsamlingen och bestäm $\mathbf{E}$ - och $\mathbf{H}$ -fälten i fjärrfältet i det övre halvplanet, $z > 0$. (4p)

Tips: Uppgift a och b går att lösa oberoende av varandra.

7

Teori (20 poäng)

Svara kortfattat, och med motiveringar där det efterfrågas.

Inget svar behöver vara längre än 2-3 meningar. Varje korrekt besvarad fråga ger 1 poäng.

Elektrostatik

1. Vad innebär superpositionsprincipen inom elektrostatiken?
2. Vad är skillnaden mellan elektriskt fält och elektrisk potential? Ge en intuitiv förklaring i ord.
3. Varför är det elektriska fältet inuti en ledare noll i elektrostatiken?
4. Vad menas med elektriska fältlinjer och hur tolkas dess riktning och täthet (dvs hur nära varandra fältlinjerna befinner sig)?

Magnetostatik

5. Vad är skillnaden mellan ett magnetfält och ett elektriskt fält? Utgå i ditt svar ifrån hur fälten påverkar laddningar och hur fälten ser ut.
6. Vad är magnetiskt dipolmoment? Ge en intuitiv förklaring i ord, samt en formel.
7. Vad är permeabilitet? Ge en intuitiv förklaring i ord.
8. Hur påverkas en strömförande ledare i ett magnetfält?

Dynamik

9. Vad är elektromagnetisk induktion? Beskriv med ord.
10. En spole med viss geometri och konfiguration är arrangerad så att en spänning induceras pga ett tidsvarierande B-fält. Hur kan man öka den inducerade spänningen i spolen? Ange minst två olika sätt.
11. Vad är virvelströmmar (eddy currents)?
12. Vad är ömsesidig induktion?
13. Vad är vågimpedans (ge en förklaring med ord) och hur definieras den?
14. Vilket villkor måste vara uppfyllt för att man ska kunna använda komplex notation?
15. Vad beskriver Fresnels ekvationer?
16. Vilken av det elektriska fältets polarisationer reflekteras inte vid Brewstervinkeln?
17. En plan våg propagerar i vakuum och infaller mot ett ledande material. Hur påverkas den plana vågen av det ledande materialet?
18. Vad är inträngningsdjup (skin depth)? Hur definieras det?
19. Hur konstrueras en halvvågsdipolantenn som ska användas som sändare?
20. Ange en lämplig tillämpning av en halvvågsdipolantenn. Motivera tillämpningen utgående ifrån dipolens egenskaper, tex dess strålningsdiagram.

1a) Arean norr om $45^\circ N$ kan beräknas med en yintegral i sfäriska koordinater där integrationen görs för $0 \leq \theta \leq \pi/4$, $0 \leq \phi < 2\pi$

Arean finns som

$$A = \iint dS = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/4} r^2 \sin \theta d\theta d\phi = 2\pi r^2 (1 - \cos \frac{\pi}{4}) = \pi r^2 (2 - \sqrt{2})$$

Andelen av arean beräknas:

$$\frac{A}{4\pi r^2} = (2 - \sqrt{2})/4 \approx 0,15 \quad (=15\%)$$

b)

$$1) a_i \cdot b \times c = \epsilon_{ijk} a_i b_j c_k = \epsilon_{kij} a_i b_j c_k$$

{där vi använder att $\epsilon_{ijk} = \epsilon_{kij}$ }

$$= (a \times b)_k c_k = b \cdot c \times a$$

$$2) \nabla \cdot \nabla^2 u_i = \frac{\partial}{\partial x_i} \nabla^2 u_i = \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j}$$

$$\nabla^2 \nabla \cdot u_i = \frac{\partial^2 \nabla \cdot u_i}{\partial x_j \partial x_j} = \frac{\partial^2}{\partial x_j \partial x_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_i}$$

Eftersom ordningen på derivator kan bytas om så är således likheten bevisad då de båda högerledena ovan är lika.

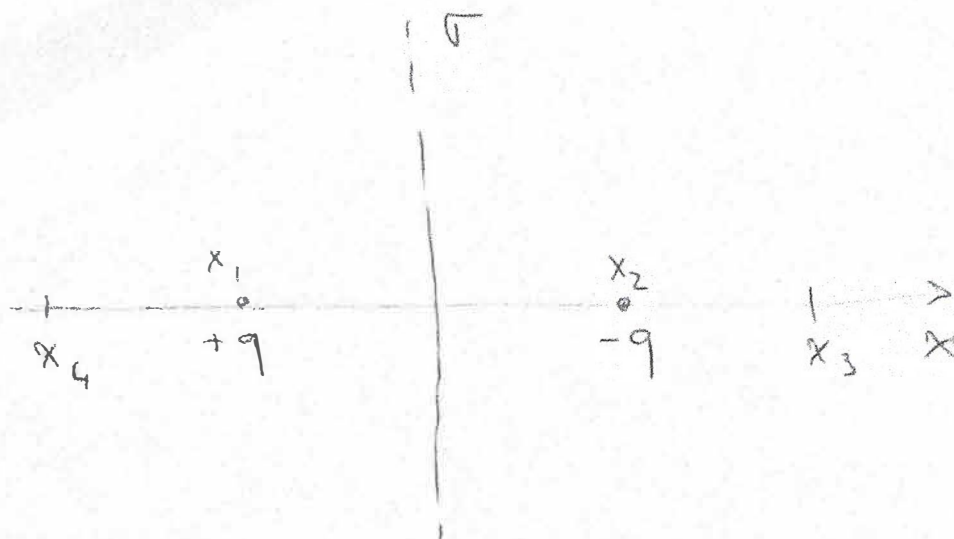
c)

$$\oint_C \mathbf{r} \cdot d\mathbf{r} = \iint_S \nabla \times \mathbf{r} \cdot \mathbf{n} dS = 0 \quad \text{ty} \quad \nabla \times \mathbf{r} = 0$$

↑
Stokes sats

2

ELECTROSTATICS EXERCISE



a) WE KNOW THAT $\vec{E} = 0$ in x_3 due to q_2

$$\vec{E}(x_3) = \left[\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{(x_3 - x_1)^2} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{(x_3 - x_2)^2} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \right] \vec{u}_x$$

↙ field due to q_1

$$\Rightarrow \vec{E}(x_3) = 0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(2+1)^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(2-1)^2} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{9} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{8}{9} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{8}{9} \Rightarrow \sigma = \frac{4q}{9a} = 141.5 \cdot 10^{-6} \text{ C/m}^2$$

b) Arbete:

$$W = -q_0 \Delta V = -q_0 (V_{\text{final}} - V_{\text{initial}})$$

$$V_{\text{initial}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{-q}{2-1} + \frac{q}{2+1} + 2\pi\sigma \cdot 2 \right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(-q + \frac{q}{3} + 4\pi\sigma \right)$$

$$V_{\text{final}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{-q}{2+1} + \frac{q}{2-1} + 2\pi\sigma \cdot 2 \right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(-\frac{q}{3} + q + 4\pi\sigma \right)$$

dar sista termen i de två uttrycken är potentialen från den oändligt stora ytladdningen.

Potentialen kan skrivas $V = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} |x|$.

Man får

$$\begin{aligned} W &= -q_0 (V_{\text{final}} - V_{\text{initial}}) = -\frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{2q}{3} + 4\pi\sigma - \left(-\frac{2q}{3} \right) - 4\pi\sigma \right) \\ &= -\frac{q_0 q}{3\pi\epsilon_0} = -1,2 \cdot 10^3 \text{ J} \end{aligned}$$

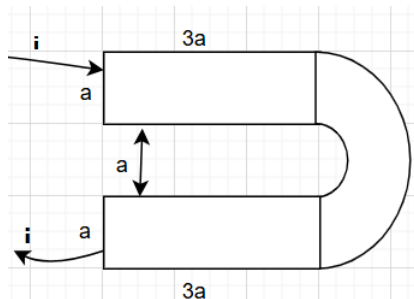
Den elektrostatiska kraften utför alltså arbetet

$$W = -1,2 \cdot 10^3 \text{ J}$$

(Vid förflyttningen måste detta arbete tillföras från en yttre kraftkälla.
 Detta arbete $W_{\text{yttre}} = -W = 1,2 \cdot 10^3 \text{ J}$)

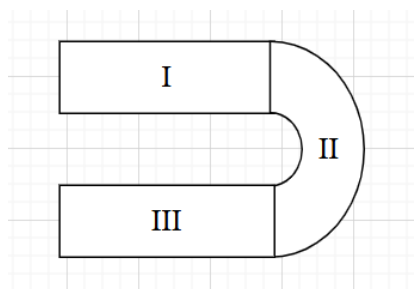
3

Approximera resistansen av figuren nedan mha så kallade "strömrör". Objektet har en tjocklek d och en konduktivitet av σ . Är detta en övre eller undre estimering av den verkliga resistansen? Motivera kortfattat.

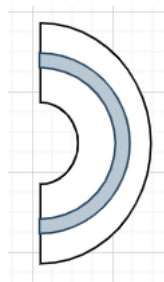


Lösning

Vi delar upp området i tre delar:



Vi har exakta värden för de "raka" delarna, e.g. $R_I = R_{III} = \frac{l}{\sigma A} = \frac{3a}{\sigma ad} = \frac{3}{\sigma d}$. (+2p)



Dela upp område II i strömrör som nedan.

Vi integrerar från $r = a/2$ till $r = 3a/2$, längden av varje element beräknas som

$l = \pi r$ och arean som $A = d \partial r$.

Eftersom vi har parallellkopplade strömrör, integrerar vi över kapacitansen för att sedan ta inversen för resistansen.

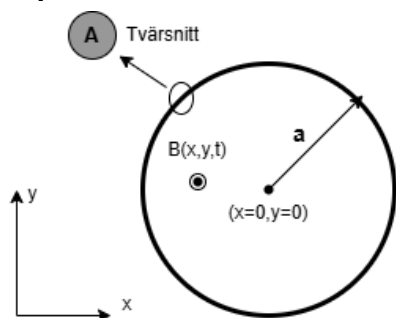
Vi har $C = \int_{a/2}^{3a/2} \partial C = \left\{ \partial C = \partial \left(\frac{A\sigma}{l} \right) = \frac{\sigma d \partial r}{\pi r} \right\} = \int_{a/2}^{3a/2} \frac{\sigma d \partial r}{\pi r} = \frac{d \sigma \log(3)}{\pi}$

Vi får $R_{II} = \frac{1}{C} = \frac{\pi}{d \sigma \log(2)}$. (+4p)

$$R = R_I + R_{II} + R_{III} = \frac{6}{\sigma a} + \frac{\pi}{d \sigma \log(3)}$$

Strömrör ger generellt en övre uppskattning, pga strömmen "tvingas" i ett flertal banor där väggarna har oändlig resistans. Se föreläsningssanteckningar. (+2p)

4



I en cirkulär slinga med radie a och tvärsnittsarea $A = 0.01 \text{ mm}^2$ går ett magnetiskt fält $B(x, y, t) = (x^2 + y^2 + 1) \cos(\omega t) \text{ T}$ som i bilden till vänster.

Antag att slingan har sin centerpunkt i origo ($x=0, y=0$) och att materialet av slingan är aluminium (med resistivitet $\rho = 2,65 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$).

Ge ett uttryck för den maximalt inducerade strömmen i slingan beroende på radien a .

Lösning

Den inducerade strömmen ges utav Ohms lag och Faradays induktionslag:

$$\text{Ohms: } I_{ind} = \frac{V_{ind}}{R}$$

$$\text{Faraday: } V_{ind} = -\frac{d}{dt} \left(\int_s B \cdot ds \right)$$

Vi har också resistansen:

$$R = \frac{\rho l}{A} = 2.56 \cdot 10^{-8} \frac{2\pi a}{10^{-8}} = 2\pi a \cdot 2.65 \Omega$$

Vi börjar med Faraday: skriv om fältet i polär form:

$$B(x, y, t) = (x^2 + y^2 + 1) \cos(\omega t) \Rightarrow B(r, t) = (r^2 + 1) \cos(\omega t)$$

Vi har då att

$$\int_s B \cdot ds = \int_0^{2\pi} \int_0^a (r^2 + 1) \cos(\omega t) r dr d\phi = 2\pi \left(\frac{a^4}{4} + \frac{a^2}{2} \right) \cos(\omega t)$$

Och därefter får vi den inducerade spänningen

$$V_{ind} = -\frac{d}{dt} \left(\int_s B \cdot ds \right) = 2\pi \omega \left(\frac{a^4}{4} + \frac{a^2}{2} \right) \sin(\omega t)$$

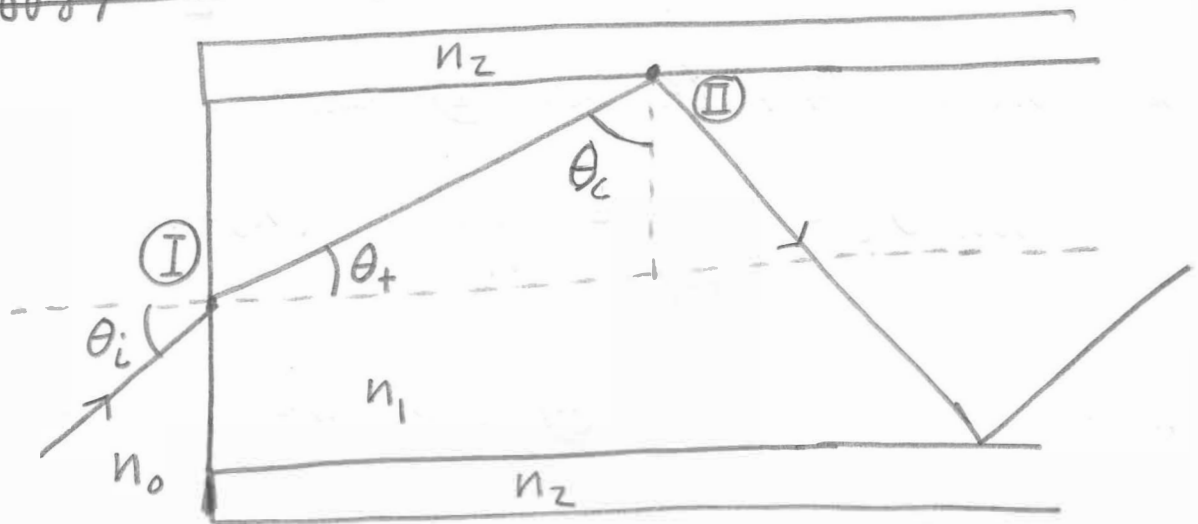
Ohms lag ger då den inducerade strömmen:

$$I_{ind} = \frac{V_{ind}}{R} = \frac{2\pi \omega \left(\frac{a^4}{4} + \frac{a^2}{2} \right) \sin(\omega t)}{2\pi a \cdot 2.65} = \frac{\omega(a^3 + 2a) \sin(\omega t)}{4 \cdot 2.65}$$

Maximalt inducerade ström fås då när $\sin(\omega t) = 1$, alltså

$$\max(I_{ind}) = \omega \frac{(a^3 + 2a)}{4 \cdot 2.65} \approx 0.0943 \omega (a^3 + 2a)$$

Uppgift 5



Two viktiga punkter:

- ① strålens infallspunkt till fibern
- ② punkt där strålen totalreflekteras o stannar i fibern.

Vi tittar ekvationerna i de två punkterna

- ① $n_0 \sin \theta_i = n_1 \sin \theta_+$ (Snells lag)
- ② $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ (Totalreflektion)

$$\Rightarrow \theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

Den kritiska vinkeln för totalreflektion är

$$\theta_c \leq \frac{\pi}{2} - \theta_+$$

Med detta kan vi skriva om ekvation ② som

$$\sin \theta_c \leq \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta_+\right) = \cos \theta_+$$

$$\Rightarrow \cos \theta_+ \geq \frac{n_2}{n_1} \quad (*)$$

Worst case scenario för då $\theta_i \rightarrow \frac{\pi}{2}$

der. $\sin \theta_i \rightarrow 1$. Ekvation (I) kan då skrivas som

$$\sin \theta_t = \frac{n_o}{n_1} = \frac{1}{n_1} \quad (n_o = 1 \text{ i luft/vakuum})$$

Vi skriver om ekvation (*) och sätter in uttrycket på $\sin \theta_t$

$$\Rightarrow \cos \theta_t = \sqrt{1 - \sin^2 \theta_t} \geq \frac{n_z}{n_1}$$

$$\Rightarrow \sqrt{1 - \frac{1}{n_1^2}} \geq \frac{n_z}{n_1}$$

$$\Rightarrow 1 - \frac{1}{n_1^2} \geq \frac{n_z^2}{n_1^2} \Rightarrow n_1^2 - 1 \geq n_z^2$$

$$\Rightarrow n_z \leq \sqrt{n_1^2 - 1}$$

Uppgift 6

- a. Poyntingvektorn beräknas enligt $\mathcal{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}^*$
och dess riktningskomponent enligt $\mathcal{S}_{med} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \{ \mathcal{S} \}$

För en TEM väg som propagerar i

Γ -riktningen i vakuum har vi

$$\mathbf{H} = \frac{1}{Z_0} \hat{\Gamma} \times \mathbf{E}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \mathcal{S}_{med} &= \frac{1}{2} \operatorname{Re} \{ \mathbf{E} \times \mathbf{H}^* \} = \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left\{ \mathbf{E} \times \left(\frac{1}{Z_0} \hat{\Gamma} \times \mathbf{E} \right)^* \right\} = \\ &= \frac{1}{2Z_0} |\mathbf{E}|^2 \hat{\Gamma} \end{aligned}$$

För en verktydligt ges $\mathbf{E}$ -fältet i jämförandet
är

$$\mathbf{E} = \hat{\Theta} Z_0 \frac{j\omega l I \sin \theta}{4\pi c} e^{-j\omega r/c}$$

För direktvinklet har vi

$$P = P_0 \cos \omega t \hat{z} = P_0 j \hat{z} = I l \frac{\hat{z}}{j\omega}$$

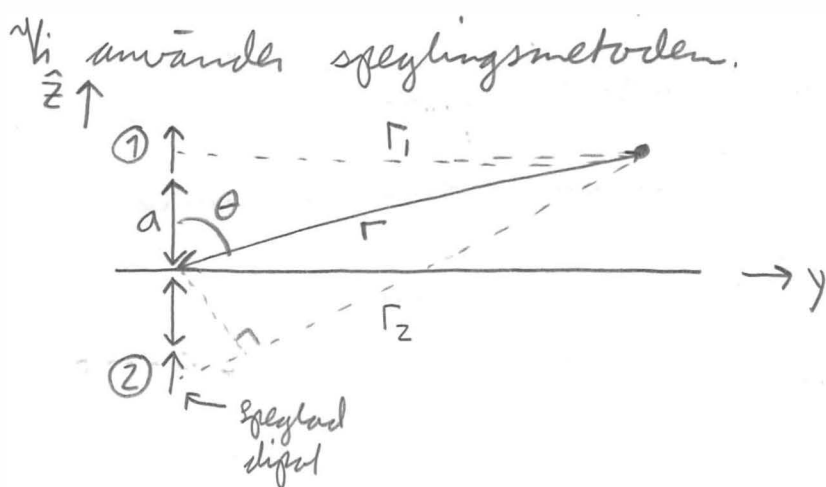
$$\Rightarrow I l = -P_0 \omega$$

Vi får nu $\mathbf{E}$ -fältet

$$\mathbf{E} = -\hat{\Theta} Z_0 j \omega^2 \frac{P_0 \sin \theta}{4\pi c} e^{-j\omega r/c}$$

$$\Rightarrow S_{\text{med}} = -Z_0 \frac{\omega^4 p_0^2 \sin^2 \theta}{32 \pi^2 c^2 r^2} \hat{r}$$

b Vi använder speglingmetoden.



Som i a ges E-fältet från en vertikaldipol av

$$\begin{aligned} \bar{E} &= \hat{\theta} Z_0 \frac{j\omega l I \sin \theta}{4\pi R c} e^{-j\frac{\omega R}{c}} = \{-p_0 \omega = I l\} = \\ &= -\hat{\theta} Z_0 \frac{j\omega^2 p_0 \sin \theta}{4\pi R c} e^{-j\frac{\omega R}{c}} = -\hat{\theta} j \bar{E}_0 \frac{\sin \theta}{R} e^{-j\frac{\omega R}{c}} \end{aligned}$$

Dipolen och den speglade dipolen har samma riktning och totala E-fältet i fjärfältet ges av

$$\bar{E} = \bar{E}_1 + \bar{E}_2 = -\hat{\theta} j \bar{E}_0 \frac{\sin \theta}{r_1} e^{-j\frac{\omega r_1}{c}} - \hat{\theta} j \bar{E}_0 \frac{\sin \theta}{r_2} e^{-j\frac{\omega r_2}{c}}$$

Låt θ beteckna vinkeln mellan vektorn $\underline{r}$ o z -axeln. Då kan vi approximera $r_1 \approx r_2$

som

$$r_1 = r - a \cos \theta \quad r_2 = r + a \cos \theta$$

$$\Rightarrow \bar{E} = -\hat{\theta} j \frac{\bar{E}_0 \sin \theta}{r - a \cos \theta} e^{-j \frac{\omega}{c} (r - a \cos \theta)} - \hat{\theta} j \frac{\bar{E}_0 \sin \theta}{r + a \cos \theta} e^{-j \frac{\omega}{c} (r + a \cos \theta)}$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \text{Da } a \ll r \text{ i fjärfältet} \\ \Rightarrow \frac{1}{r} \approx \frac{1}{r - a \cos \theta} \approx \frac{1}{r + a \cos \theta} \end{array} \right\} =$$

$$= -\hat{\theta} j \frac{\bar{E}_0 \sin \theta}{r} e^{-j \frac{\omega}{c} r} \left[e^{j \frac{\omega}{c} a \cos \theta} + e^{-j \frac{\omega}{c} a \cos \theta} \right] =$$

$$= -\hat{\theta} j \frac{\bar{E}_0 \sin \theta}{r} e^{-j \frac{\omega}{c} r} \cdot 2 \cos \left(\frac{\omega}{c} a \cos \theta \right)$$

Medverkande H-fält ges av

$$\bar{H} = \hat{\phi} \frac{\bar{E}}{Z_0}$$

Elektrostatik

1. Superpositionsprincipen innebär att det totala elektriska fältet från flera laddningar är summan av de elektriska fälten från varje enskild laddning, beräknade var för sig. Fälten adderas vektoriellt.
2. **Elektriskt fält (E)** är en vektorstorhet som beskriver kraften per enhetsladdning i en punkt i rummet.

Elektrisk potential (V) är en skalär storhet som beskriver den potentiella energin per enhetsladdning. Detta inses genom sambandet $W = qV$

De är relaterade genom: $E = -\nabla V$.

vilket betyder att det elektriska fältet är riktat i den riktning där potentialen minskar mest.

3. I elektrostatisk jämvikt fördelar sig fria laddningar i en ledare så att det inre elektriska fältet neutraliseras. Om det fanns ett fält skulle laddningarna fortsätta röra sig, vilket strider mot antagandet om statik. Därför är det elektriska fältet inuti en ledare noll.
4. Elektriska fältlinjer är visuella representationer av det elektriska fältet.
Riktningen på linjerna visar i vilken riktning en positiv testladdning skulle röra sig.

Tätheten av linjerna visar hur starkt fältet är – ju tätare linjer, desto starkare fält.

Magnetostatik

5. Ett elektriskt fält påverkar laddningar i vila och i rörelse, medan ett magnetfält endast påverkar laddningar i rörelse (strömmar). Magnetfält har alltid slutna fältlinjer, till skillnad från elektriska fält var fältlinjer börjar och slutar i laddningar.
6. Ett magnetiskt dipolmoment är ett mått på styrkan och riktningen hos ett magnetfält som genereras av en strömkrets eller magnet.
För en strömloop: $m = I \cdot A$, där I är strömmen och A är areavektorn.
7. Permeabilitet beskriver hur lätt ett material tillåter magnetfält att bildas i det.
Eller med andra ord hur lätt de magnetiska dipolerna i materialet orienterar sig längs med pålagt fält.
8. Den påverkas av en kraft enligt Lorentzkraftlagen:

$$F = I l \times B$$

där l är ledarens längdvektor och B är magnetfältet och I är strömmen i ledaren.

Dynamik

9. Elektromagnetisk induktion är fenomenet där en elektrisk spänning (emk) genereras i en ledare när den utsätts för ett förändrat magnetfält.
10. Öka antalet varv i spolen
Öka förändringshastigheten av magnetfältet

Använda starkare magnetfält

Öka arean som fältet passerar genom

11. Virvelströmmar är strömmar som induceras i ledande material när de utsätts för ett varierande magnetfält. De kan orsaka energiförluster i form av värme.
12. Ömsesidig induktion uppstår när en förändring i strömmen i en spole inducerar en spänning i en annan närliggande spole. Detta är grunden för hur transformatorer fungerar.
13. Förhållandet mellan elektriskt och magnetiskt fält i en elektromagnetisk våg:
 $Z=E/H$.
14. Tidsberoendet måste vara sinusformat. Det gäller alla fält, laddningar, strömmar, etc.
15. Fresnels ekvationer beskriver hur mycket av en infallande elektromagnetisk våg som reflekteras och bryts vid gränsen mellan två medier med olika brytningsindex, beroende på vågens polarisation och infallsvinkel.
16. Vid Brewstervinkeln reflekteras inget elektriska fältet som är parallellt med infallsplanet.
17. Vågen reflekteras till största delen. En liten del tränger in och dämpas snabbt (inträngningsdjupet), vilket leder till förluster.
18. Det är det djup i ett ledande material där vågens amplitud har minskat till $1/e$ av sitt ursprungliga värde.
19. En växelström matas in i mitten av antennen. Över och under matningspunkten monteras metallspröt som vardera är en kvarts våglängd långa. Våglängden motsvarar växelströmmens våglängd i vakuum. Antennen fungerar som bäst (resonans) då sprötens längd motsvarar halva våglängden.
20. En dipolantenn strålar lika mycket i alla riktningar. Det gör den lämplig som sändarantenn för markbunden radio och TV.