

Fråga 2
Problemlösningsdel

En magnetisk dipol $m = m\hat{x}$ befinner sig i origo. En cirkulär ring av tunn metalltråd, med radie a , vars axel sammanfaller med x -axeln ligger på ett avstånd b från origo.

A) Beräkna det av ringen omslutna flödet. **Ledning:** Uppgiften kan beräknas mha B-fält eller vektorpotentialen A. Det ena sättet är lättare...

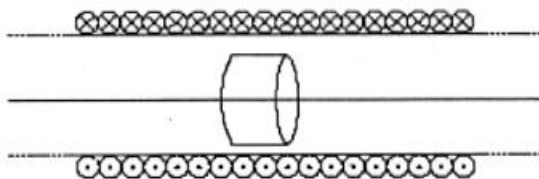
8 poäng

	Förståelsedel		
	ja	?	nej
b) Vilket eller vilka (om något) av följande påståenden är riktiga?	ja	?	nej
I grunden bygger uppgift a) på ett postulat.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I grunden bygger uppgift a) på två postulat.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I grunden bygger uppgift a) på Gauss lag och på att E-fältet är rotationsfritt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I grunden bygger uppgift a) på Amperes lag och på att B-fältet är källfritt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I grunden bygger uppgift a) på att källan till D-fältet är den fria laddningstätheten och på att E-fältet är konservativt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I grunden bygger uppgift a) på att rotationen av H-fältet är den fria strömtätheten och på att B-fältet är divergensfritt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) Vilket eller vilka (om något) av följande påståenden är riktiga?	ja	?	nej
Biot-Savarts lag är ett av postulaten i magnetostatiken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Amperes lag är ett av postulaten i magnetostatiken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Att B-fältets tangentialkomponent är kontinuerlig i gränsen mellan två material är ett resultat av att B-fältet är källfritt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
För en given strömfördelning kan Biot-Savarts lag alltid användas i magnetostatiken för att beräkna magnetfältet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
För en given strömfördelning kan Coloumbs lag aldrig användas i magnetostatiken för att beräkna magnetfältet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Magnetfältet från en oändligt lång rak ledare fås lätt från Amperes lag genom att på lämpligt sätt lägga in en Ampereslinga och plocka ut B-fältet ur integralen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d) Vilket eller vilka (om något) av följande påståenden är riktiga?	ja	?	nej
Man kan välja divergensen av den magnetiska vektorpotentialen fritt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
En laddad partikel i vila påverkas av en kraft som är proportionell mot magnetfältet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Varje komponent av den magnetiska vektorpotentialen uppfyller Poissons ekvation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Det magnetiska flödet genom en yta kan beräknas som en linjeintegral av magnetfältet längs den slinga som begränsar ytan.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Den magnetiska susceptibiliteten uttrycker förhållandet mellan magnetiseringsfältet och B-fältet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Man kan härleda Amperes lag med hjälp av att man magnetfältet är källfritt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e) Vilket eller vilka (om något) av följande påståenden är riktiga?	ja	?	nej
En magnetisk dipol används som modell när man vill beskriva de magnetiska egenskaperna hos ett material	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I ett magnetiserat material kan man ha magnetiseringsströmmar. Dessa används för att beräkna magnetfältet på samma sätt som fria strömmar i vakuum.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H fältet spelar samma roll i magnetostatiken som polarisationsfältet P i elektrostatiken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Permeabilitetskonstanten spelar liknande roll i magnetostatiken som dielektrisitetenskonstanten gör i elektrostatiken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Permanentmagneter har ett permanent magnetiseringsfält M.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Linjeintegralen av H fältet längs en sluten kurva är noll för en permanentmagnet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fråga 3

Problemlösningsdel

En kort massiv metalcylander placeras inne i en mycket lång spole som matas med växelström. En ström induceras i metalcyldern och den värms upp.



A) Gör lämpliga antaganden om frekvensen och diskutera hur det påverkar lösningen.

3 poäng

B) Beräkna effektutvecklingen i cylindern.

5 poäng

Förståelsedel

c) Vilket eller vilka (om något) av följande påståenden är riktiga?

I grunden bygger uppgift a) på Maxwells ekvationer

ja

?

nej

I grunden bygger uppgift a) på två postulat.

I grunden bygger uppgift a) bland annat på Gauss lag och på att B-fältet är källfritt.

I grunden bygger uppgift a) bland annat på Amperes lag och på att E-fältet är konservativt

I grunden bygger uppgift a) bland annat på att källan till D-fältet är den fria laddningstätheten och på Amperes lag

I grunden bygger uppgift a) bland annat på att rotationen av H-fältet är den fria strömtätheten och på att B-fältet är divergensfritt.

d) Vilket eller vilka (om något) av följande påståenden är riktiga?

Faradays induktionslag är en av Maxwells ekvationer.

ja

?

nej

Amperes lag modifieras när man går från magnetostatik till elektromagnetism.

Den magnetiska susceptibiliteten uttrycker att magnetiseringsfältet M är proportionellt mot H-fältet för ett isotropt, linjärt men inhomogent material.

De konstitutiva ekvationerna uttrycker materialegenskaper.

En krets innehåller en spänningskälla som genererar sinusformad spänning och en plattkondensator.

Förskjutningsströmmen i luftgapet i plattkondensatorn är lika stor som ledningsströmmen i ledningen fram till kondensatorn.

Begreppet retarderade potentialer härrör sig från att inget kan färdas snabbare än ljusets hastighet.

e) Vilket eller vilka (om något) av följande påståenden är riktiga?

Faradays induktionslag uttrycker att ett elektriskt fält kan genereras utan laddningsseparation.

ja

?

nej

En cirkulär oledande skiva roterar runt sin symmetriaxel i ett konstant statiskt magnetfält riktat längs rotationsaxeln. Elektronerna känner då av en $U \times B$ kraft så att en spänning uppstår mellan två elektroder kopplade med släpkontakter till skivans rotationsaxel respektive skivans periferi.

I transformatorer och elektriska motorer har man ofta många järnskivor med isolerande färg på. Skivorna staplas på varandra och bygger tillsammans upp en magnetisk krets. Man använder sådana skivor utav järn för att minimera virvelströmsförlusterna.

Induktion är den mekanism med vilken (t.ex.) en krets försöker förhindra flödesändringar.

Det länkade flödet är viktigt vid beräkningar på induktion.

En ledare som rör sig i ett statiskt magnetfält utsätts i ett koordinatsystem som rör sig med ledaren för ett elektriskt fält.

f) Vilket eller vilka (om något) av följande påståenden är riktiga?

Man kan använda Lenz lag för att bestämma riktningen på strömmen i en stillastående slinga som befinner sig i ett tidsvarierande magnetfält.

ja

?

nej

Lenz lag säger att riktningen på inducerade strömmar är sådan att de medvekar till att förstärka det ursprungliga magnetfältet.

E-fältet är konservativt vid induktionsproblem

I den ekvivalenta kretsen för Faradys induktionslag kommer externa flöden in som externa spänningskällor

Den magnetiska vektorpotentialen ger upphov till elektriska fält som härrör sig från tidsvarierande strömmar

Den skalära potentialen ger upphov till elektriska fält som härrör sig från laddningsseparation

Fråga 4

Problemlösningsdel

En elektromagnetisk våg som utbreder sig i vakuum har E-fältet

$$\mathbf{E} = \hat{x}E_0 \sin(\alpha z) \sin(\omega t - \beta y)$$

- A) Beräkna tillhörande H-fält 3 poäng
- B) Är detta en plan våg? (Det som i kursboken kallas *uniform plane wave*) Motivera! 2 poäng
- C) Bestäm konstanten β med hjälp av vågkvationen. 3 poäng

Förståelsedel

d) Vilket eller vilka (om något) av följande påståenden är riktiga?

	ja	?	nej
I grunden bygger uppgift a) på Maxwells ekvationer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I grunden bygger uppgift a) på två postulat.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I grunden bygger uppgift a) bland annat på Gauss lag och på att B-fältet är källfritt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I grunden bygger uppgift a) bland annat på Amperes lag och på att E-fältet är konservativt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I grunden bygger uppgift a) bland annat på att källan till D-fältet är den fria laddningstätheten och på Amperes lag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I grunden bygger uppgift a) bland annat på att rotationen av H-fältet är den fria strömtätheten och på att B-fältet är divergensfritt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

e) Vilket eller vilka (om något) av följande påståenden är riktiga?

	ja	?	nej
Grupphastigheten är den hastighet som en vågs energi färdas med.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
För en plan våg i vakuum är fashastigheten och grupphastigheten samma.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
För en plan våg i metall är fashastigheten och grupphastigheten samma.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
För en plan våg i ett dielektrika är fashastigheten och grupphastigheten samma.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Våglängden för en plan våg är frekvensoberoende om grupphastigheten skiljer sig från fashastigheten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Poyntingvektorn uttrycker en vågs energi i en viss riktning.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

f) Vilket eller vilka (om något) av följande påståenden är riktiga?

	ja	?	nej
Poyntingvektorn uttrycker en vågs intensitet och riktningen som effekten går.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Poyntings teorem uttrycker energi konservering.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
En plan våg med cirkulär polarisation reflekteras mot en metallskiva mer effektivt än vad en linjärpolariserad våg gör.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reflektionskoefficienten för effekt vid vinkelrätt infall är det samma som kvadraten på reflektionskoefficienten för amplituden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transmissionskoefficienten för effekt vid vinkelrätt infall är det samma som kvadraten på transmissionskoefficienten för amplituden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

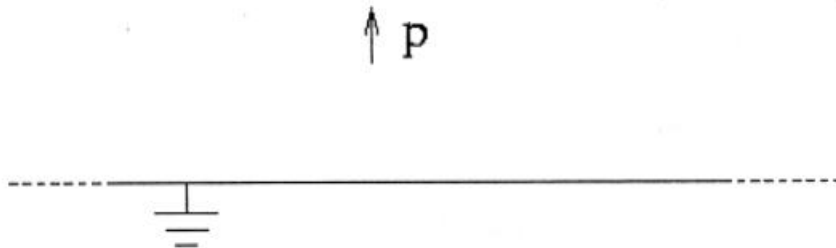
g) Vilket eller vilka (om något) av följande påståenden är riktiga?

	ja	?	nej
För plana vågor är fälten konstanta i ett plan vinkelrätt mot utbredningsriktningen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vågimpedansen för luft och vakuum är båda ungefär 377 ohm.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ferromagnetiska material har lägre vågimpedans än andra metaller.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Snells brytningslag säger att när man går från ett optiskt tätare medium till ett optiskt tunnare medium bryts ljuset mot ytnormalen mellan materialen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
När man sitter i en roddbåt och tittar på en åra ser det ut som om åran är av precis i vatten ytan. Det ljus vi studerar från delen av åran under vattnet har brutits från ytnormalen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fresnels ekvationer härleds genom att man använder randvillkoren för fälten i gränsskiktet mellan två material.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fråga 5

Problemlösningsdel

En Hertzdipolantenn med $\mathbf{p}(t) = \hat{x}p_0 \cos \omega t$ befinner sig i luft i punkten $(0,0,a)$ i kartesiska koordinater. I (x,y) -planet ligger ett mycket stort, mycket gott ledande plan. Antag att planet befinner sig i strålningszonen till dipolen.



A) Använd speglingsmetoden och randvillkoret för H-fältet för att beräkna den inducerade ytströmtätheten som antennen orsakar i metallplanet.

8 poäng

Förståelsedel

b) Vilket eller vilka (om något) av följande påståenden är riktiga?

	ja	?	nej
I grunden bygger uppgift a) på Maxwells ekvationer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I grunden bygger uppgift a) på två postulat.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I grunden bygger uppgift a) bland annat på Gauss lag och på att B-fältet är källfritt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I grunden bygger uppgift a) bland annat på Amperes lag och på att E-fältet är konservativt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I grunden bygger uppgift a) bland annat på att källan till D-fältet är den fria laddningstätheten och på Amperes lag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I grunden bygger uppgift a) bland annat på att rotationen av H-fältet är den fria strömtätheten och på att B-fältet är divergensfritt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

c) Vilket eller vilka (om något) av följande påståenden är riktiga?

	ja	?	nej
En cirkulärt polariserad plan våg i vakuum träffar en plan gränssyta till ett förlustfritt dielektrium under Brewstervinkeln. Den reflekterade vågen kommer att vara linjärpolariserad.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
En cirkulärt polariserad plan våg i vakuum träffar en plan gränssyta till ett förlustfritt dielektrium under Brewstervinkeln. Den reflekterade vågen kommer att vara cirkulärpolariserad.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
En cirkulärt polariserad plan våg i vakuum träffar en plan gränssyta till ett förlustfritt dielektrium under Brewstervinkeln. Den reflekterade vågen kommer att vara elliptiskt polariserad.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Den retarderade potentialerna uppfyller samma vågekvation men med olika källtermer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Den elektriska fältet uppfyller samma vågekvation som potentialerna men med olika källterm.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Monokromatiska vågor innehåller bara en frekvens.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

d) Vilket eller vilka (om något) av följande påståenden är riktiga?

	ja	?	nej
Reciprocitet för en antenn betyder att den har hög inimpedans.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bandbredden hos en antenn uttrycker hur bred bandet som antennen är gjord av är	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bandbredden hos en antenn uttrycker hur brett frekvensband som antennen är gjord för.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Antenn förstärkningen för en satellitburen antenn för TV användning skall vara hög	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strömmen är konstant längs en Hertzdipolantenn.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strömmen är konstant längs en halvågsdipolantenn.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1)

Då vi sätter brytaren i läge 1:

Före:

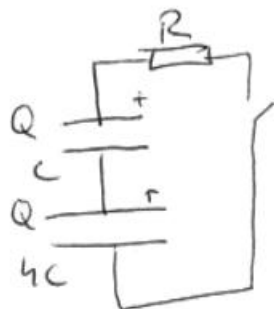
Spänning över vänstra kondensatorn: $\frac{Q}{C} = U_1$

Spänning över de två mittersta: $\frac{Q}{2C} + \frac{Q}{2C} = \frac{Q}{C} = U_2$

$U_1 = U_2 \Rightarrow$ Samma spänning \Rightarrow ingen ström vid brytarpunkten
 \Rightarrow inga förluster i R.

Då vi sätter brytaren i läge 2:

Ny krets:



Båda kapacitanserna laddas
 nu ur genom R.

$$\Rightarrow \Delta W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} + \frac{1}{2} \frac{Q^2}{4C} =$$

$$\frac{5}{8} \frac{Q^2}{C} \quad [J]$$

2)

Magnetiska vektorpotentialen för en dipol ges av

$$\vec{A} = \frac{\mu_0 m \times \hat{R}_{12}}{4\pi R_{12}^2}$$

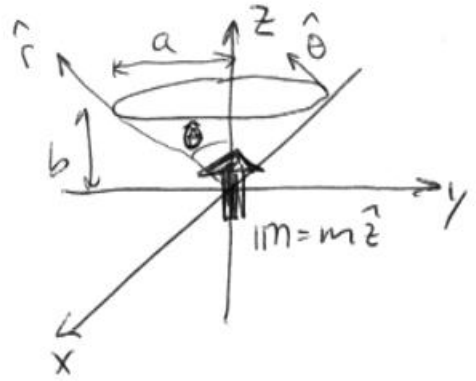
$$\text{Vi har } m \times \hat{R}_{12} = m \hat{z} \times \hat{R} = m \sin\theta \hat{\varphi}$$

$$\left\{ \sin\theta = \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}} \right\} = \frac{m a}{\sqrt{a^2+b^2}} \hat{\varphi}$$

$$R_{12} = \sqrt{a^2+b^2}$$

Det omslutna magnetiska flödet förs som

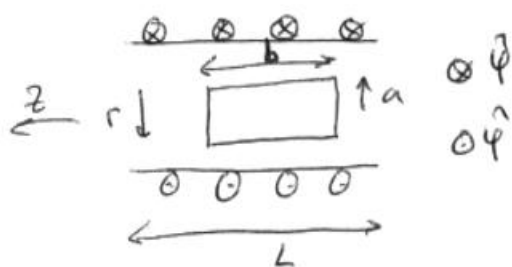
$$\begin{aligned} \phi &= \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int_S \nabla \times \vec{A} \cdot d\vec{s} \stackrel{\text{(STOKES)}}{=} \oint_L \vec{A} \cdot d\vec{l} = \int_0^{2\pi} \frac{\mu_0 m \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}} \hat{\varphi}}{4\pi (a^2+b^2)} \cdot \hat{\varphi} a d\varphi = \\ &= \frac{\mu_0 m a}{2 (a^2+b^2)^{3/2}} \end{aligned}$$



3a)

Vi antar låga frekvenser. Små frekvenser leder till små inducerade strömmar. Påverkan på totalt flöde från magnetfältet som utstrålar av den inducerade strömmen blir därför litet. Därvid räcker det att ta hänsyn till flödet som utstrålar från det yttre fältet, genererat av spolen. Blior frekvensen högre måste vi ta hänsyn till fältet från den inducerade strömmen då vi tecknar Φ .

b)



Fältet från en lång rak spole:

$$B = \hat{z} \frac{\mu_0 i N}{L}$$

$$i = I \cos \omega t$$

N är antal vridningsvarv.

Anta att frekvensen är låg vilket gör att vi kan räkna kvastationärt och försumma bidraget i Φ från den inducerade strömmen.

ett E -fält induceras i cylindern.



$$\text{Vi beräknar: } V_{\text{ind}} = \oint E \cdot dl = E_{\phi} \pi r = - \frac{\partial \Phi}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial t} \pi r^2 B_z =$$

$$= \pi r^2 \frac{\mu_0 N}{L} I_0 \omega \sin \omega t \Rightarrow E_{\phi} = \frac{r \mu_0 N I_0 \omega \sin \omega t}{2L}$$

Beräkna strömtätheten som $J_{\phi} = \sigma E_{\phi}$

Effektutredning/volymsenergi: $J \cdot E = \sigma E_{\phi}^2$

Tidsmedelvärde av effektutvecklingen:

$$\begin{aligned}\langle P \rangle &= \frac{1}{2} \int_0^a \frac{(\mu_0 N I \omega)^2}{(2L)^2} r^2 2\pi r dr b = \frac{\sigma \mu_0^2 N^2 I_0^2 \omega^2 \pi b}{4L^2} \int_0^a r^3 dr \\ &= \frac{\sigma \mu_0^2 N^2 I_0^2 \omega^2 \pi a^4 b}{16 L^2}\end{aligned}$$

$$4) a) \quad \mathbb{E} = \hat{x} E_0 \sin(az) \sin(\omega t - \beta y)$$

$$\text{Faradays lag} \quad \nabla \times \mathbb{E} = -\frac{\partial \mathbb{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbb{E} = \hat{y} \frac{\partial E_x}{\partial z} - \hat{z} \frac{\partial E_x}{\partial y} = \hat{y} E_0 a \cos(az) \sin(\omega t - \beta y) + \hat{z} E_0 \sin(az) \beta \cos(\omega t - \beta y)$$

$$\Rightarrow \mathbb{B} = -\int \nabla \times \mathbb{E} dt = \hat{y} E_0 \cos(az) \frac{a}{\omega} \cos(\omega t - \beta y) - \hat{z} E_0 \sin(az) \frac{\beta}{\omega} \sin(\omega t - \beta y)$$

$$\mathbb{H} = \frac{\mathbb{B}}{\mu} = \hat{y} \frac{E_0 a \cos(az)}{\mu \omega} \cos(\omega t - \beta y) - \hat{z} \frac{E_0 \sin(az) \beta}{\mu \omega} \sin(\omega t - \beta y)$$

b) Nej! Fältet varern vinkelrätt (i z-led) mot utbredningsriktn. som $\sin(az)$

$$c) \quad \nabla^2 \mathbb{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbb{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (\text{Betragta } a \text{ som en konstant})$$

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \mathbb{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbb{E}}{\partial t^2} = 0$$

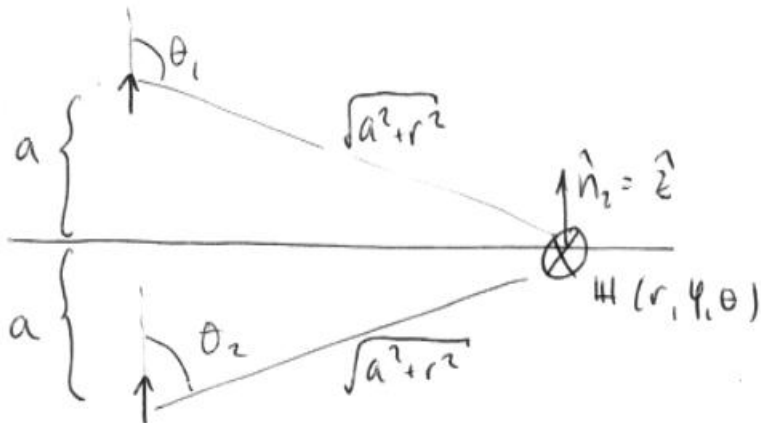
$$-E_0 \sin(az) \beta^2 \sin(\omega t - \beta y) - E_0 \sin(az) a^2 \sin(\omega t - \beta y) + \frac{1}{c^2} E_0 \sin(az) \omega^2 \sin(\omega t - \beta y) = 0$$

$$\Rightarrow -\beta^2 - a^2 + \frac{\omega^2}{c^2} = 0$$

$$\beta^2 = \frac{\omega^2}{c^2} - a^2$$

5)

Spegling av dipolantennen



Formeln för fältet från en dipol ger följande uttryck för vår dipol och dess spegelladdning:

$$\bar{H}(r, \varphi, \theta) = \hat{\varphi} 2 \cdot \frac{-\omega^2 \bar{p}_0 \frac{r}{\sqrt{a^2 + r^2}}}{4\pi c \sqrt{a^2 + r^2}} e^{-j\omega \frac{\sqrt{a^2 + r^2}}{c}}$$

där $\bar{p}_0 = \frac{l \hat{z}_0}{j\omega}$ är dipolmomentet på komplex form.

Randvillkoret för de tangentiella H-komponenterna ges:

$$\hat{n}_2 \times (\bar{H}_1 - \bar{H}_2) = \bar{J}_s$$

$$\bar{H}_2 = 0 \quad \text{ty metallen är en god ledare}$$

$$\bar{J}_s = \hat{z} \times \hat{\varphi} \frac{-\omega^2 p_0 \frac{r}{\sqrt{a^2 + r^2}}}{2\pi c \sqrt{a^2 + r^2}} e^{-j\omega \frac{\sqrt{a^2 + r^2}}{c}} \Rightarrow$$

$$\bar{J}_s = \hat{r} \frac{\omega^2 p_0 r}{2\pi c (a^2 + r^2)} \cos(\omega t - \frac{\omega}{c} \sqrt{a^2 + r^2}) \quad \text{A/m}$$