EMDAT

Elektromanyetik Alanların Sınıflandırılması

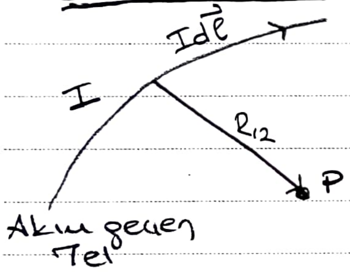
1- Statik Elektrik Alanlar: Kaynak: Hareketsiz elektrik yükleri (zamanla değişmiyor)

2- Statik manyetik Alanlar: Kaynak: Sabit hızla hareket eden elektriksel yükler, DC devreler (zamanla değişmiyor)

3- Elektromanyetik Alanlar: Kaynak: ivmeli hareket eden elektriksel yükler, örneğin verici antenlerinden yayılan dalgalar, TV baz istasyonu, radyo ... (zamanla değişiyor.)

Statik Manyetik Alanlar.

$I.\,\vec{dl}_1$ akım elemanı vektörünün bir P noktasında oluşturacağı yey uzunluğu elemanı vektörü $d\vec{H}_2$ manyetik alanı: Biot-Savart Yasası ile aşağıdaki gibi hesaplanır



$$\boxed{d\vec{H}_2 = \frac{I\vec{dl}_1 \times \vec{a}_{12}}{4\pi R_{12}^2} \quad (A/m)}$$

Biot-Savart Yasası

a_{12} = birim vektör

$a_{12} = \dfrac{\vec{R}_{12}}{R_{12}}$.

$\vec{\nabla}.\vec{J} = \dfrac{\partial \rho_v}{\partial k}$ ⇒ süreklilik bağıntısı

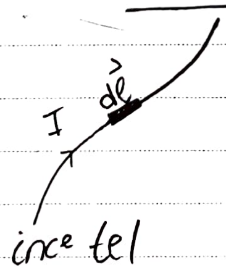
* statik durum için $\dfrac{\partial \rho_v}{\partial k} = 0$ olur

$\vec{\nabla}.\vec{J} = 0$ veya

$\iiint(\vec{\nabla}\vec{J})\,dv = 0$

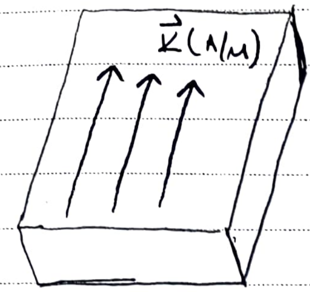
$\boxed{\iint \vec{J}\,d\vec{s} = 0}$ DC devrelerde kapalı bir S yüzeyinden geçen toplam akım 'sıfırdır'

Akım Çeşitleri



$I\,dl$ = akım elemanı (A.m)

*

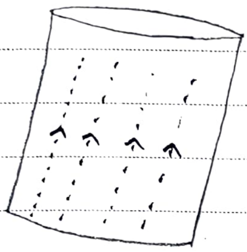


Tabakanın yüzeyini sıyırıp geçen akım elemanı;

$\vec{K}\,d\vec{s}$ = yüzeysel akım elemanı vektörü

A/m , m^2 $= (A.m)$

*



Akım bir kesite dağılmış akıyorsa;

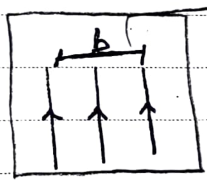
$\vec{J}\,d\vec{V} =$

A/m^2 , m^3 $= (A.m)$

$I\,d\vec{l} \cdot \vec{K}\,d\vec{s} = \vec{J}\,d\vec{V}$ ⇒ Biot-Savert kullanılabilir.

$\vec{K}\,d\vec{s}$: 2 kat integral; $\vec{J}\,d\vec{V}$: 3. kat integral

*



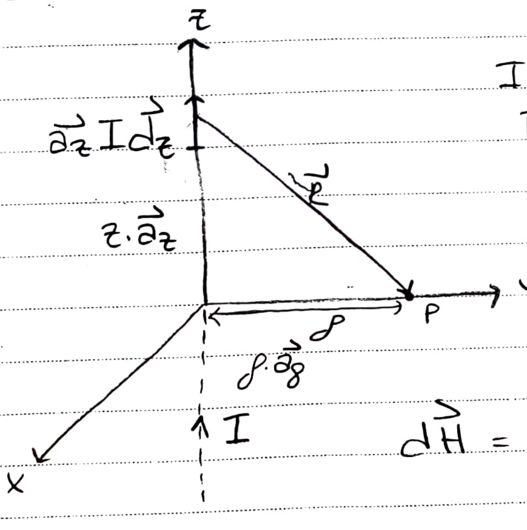
→ dik kesen bir b seçiliyor.

b kalınlığına düşen toplam akım;

$\boxed{I = K.b}$ ile bulunur.

ÖDEV

z ekseninine yerleşmiş sonsuz uzunlukta telden I akımı geçiyor. Bu telden ρ kadar uzaklıktaki oluşan manyetik alanı biot-savert ile bulunuz.



$$I_1\,d\vec{l}_1 = I\,d\vec{z}\,\vec{a}_z$$

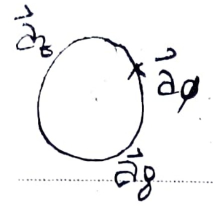
$$\vec{R} = \rho\,\vec{a}_\rho - z\,\vec{a}_z$$

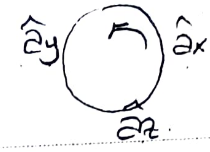
$$R = \sqrt{\rho^2 + z^2} = R^2 = \rho^2 + z^2$$

$$\vec{a}_{12} = \frac{\vec{R}}{R} = \frac{\rho\,\vec{a}_\rho - z\,\vec{a}_z}{(\rho^2 + z^2)^{1/2}}$$

$$d\vec{H} = \frac{I_1\,d\vec{l}_1 \times \vec{a}_{12}}{4\pi R_{12}^2}$$

$$d\vec{H} = \frac{I\,dz\,\vec{a}_z \times (\rho\,\vec{a}_\rho - z\,\vec{a}_z)}{4\pi\,(\rho^2 + z^2)^{3/2}}$$





$\rho = r$

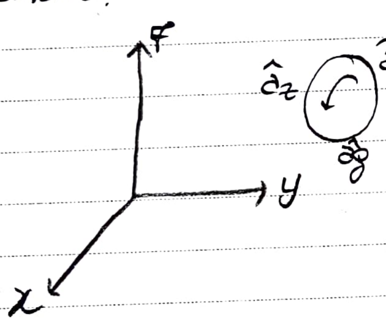
$$d\vec{H} = \frac{I\,dz\,.\,\rho}{4\pi(\rho^2+z^2)^{3/2}}\,\vec{a}_\phi$$

$$\vec{H} = \frac{I\,.\,\rho}{4\pi}\hat{a}_\phi \int \frac{dz}{(\rho^2+z^2)^{3/2}} = \frac{I}{2\pi\,.\,\rho}\,\hat{a}_\phi \;(A/m)$$

$$\boxed{\vec{H} = \frac{I}{2\pi\rho}\,\hat{a}_\phi}$$ önemli :)

Soru 0,4 A'lik bir çizgisel akım $\vec{a}_z$ yönünde z eksenine paralel olarak (2,-4,0) noktasından geçerek akıyor. Bu akım elemanı;
a) $-\infty < z < \infty$
b) $-3 < z < 3$ aralığında bulunması durumunda her bir için (0,1,0) noktasında düşecek M.A hesapla.

a) // sonsuz uzun bir tel için; $\vec{H} = \dfrac{I}{2\pi\rho}\,\hat{a}_\phi \rightarrow \hat{a}_z \times \hat{a}_\rho$



$\vec{\rho} = \vec{R}_2 - \vec{R}_1 = (0-2)\vec{a}_x + (1--4)\vec{a}_y + (0-0)\vec{a}_z$

$\vec{\rho} = -2\vec{a}_x + 5\vec{a}_y$

$\rho = \sqrt{(-2)^2+5^2} = \sqrt{29}$

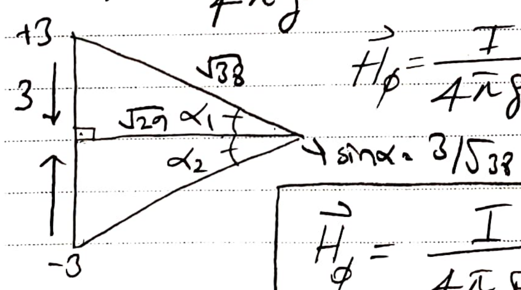
$\vec{a}_\rho = \dfrac{\vec{\rho}}{\rho} = \dfrac{-2\vec{a}_x + 5\vec{a}_y}{\sqrt{29}}$

$$\vec{H} = \frac{I}{2\pi\sqrt{29}}\,\hat{a}_z \times \frac{-2\vec{a}_x+5\vec{a}_y}{\sqrt{29}}$$

$$\vec{H} = \frac{0{,}4}{2\pi.29}\left(\vec{a}_z \times (-2\vec{a}_x + 5\vec{a}_y)\right)$$

$$\vec{H} = (-10{,}98\,\vec{a}_x - 4{,}39\,\vec{a}_y)\ \mu A/m$$

b) // $\vec{H}_\phi = \dfrac{I}{4\pi\rho}(\sin\alpha_1 - \sin\alpha_2)$ (aralık değerleri eşit (3) old. için açılar aynı gelir.



$\vec{H}_\phi = \dfrac{I}{4\pi\rho}\underbrace{(\sin\alpha_1 - \sin\alpha_2)}_{2\sin\alpha}$ $\quad \sin\alpha = 3/\sqrt{38}$

$$\boxed{\vec{H}_\phi = \frac{I}{4\pi\rho}\,.\,2\,.\,3/\sqrt{38}}$$

$F = I\int dl \times B$

⇒ Amper Yasası :

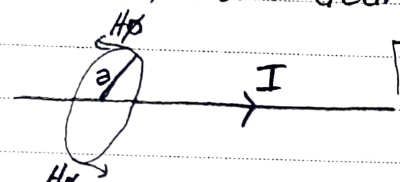
Kapalı bir çevrim boyunca manyetik alanın integrali o çevrimin içinde kalan toplam akıma eşittir ve;

$$\boxed{\oint_C \vec{H}\, d\vec{l} = I}$$ dır.

↳ kapalı çevrim

ÖRN

Sonsuz uzun telin çevresindeki manyetik alanı Amper Y. bul.



→ Akım taşıyan tel

Telin a yarıçaplı dairesel alanda oluşan manyetik alanı Hø bileşenlidir.

$$\oint \vec{H}\, d\vec{l} = I$$

$$\int_0^{2\pi} H_\phi\, a\, d\phi = I$$

$$H_\phi\, a\, 2\pi = I \longrightarrow \boxed{\vec{H_\phi} = \frac{I}{2\pi a}} \quad ***$$

ÖRN

İç iletkenin yarıçapı a olan koaksiyon kablosu (TV) $+\vec{a_z}$ yönünde I akımı geçiyor. Dış iletkenin kabuk yarıçapı b, c ($b<c$) olan kısmında ise akım geri dönüyor.

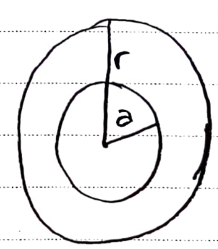
a) $r<a$ $\vec{H} = ?$

b) $a<r<b$ $\vec{H} = ?$

c) $b<r<c$ $\vec{H} = ?$

d) $c<r$ $\vec{H} = ?$

b) $a<r<b$



$$H \cdot r \cdot 2\pi = I.$$

$$H = \frac{I}{2\pi r}\,\hat{a}_\phi$$

a)

$r<a$

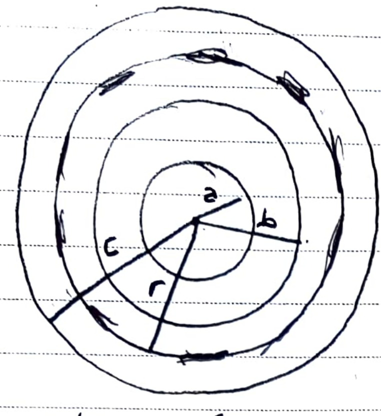
$$\to \int \vec{H}\, d\vec{l} = I$$

$$\vec{H} \cdot \cancel{r}\, 2\pi = I \cdot \frac{\cancel{\pi} r^{\cancel{2}}}{\cancel{\pi} a^2}$$

$$\boxed{\vec{H} = \frac{I\, r}{2\pi a^2}\,\hat{a}_\phi}$$

$dF = I\,dl \times B$

c)



$b<r<c$

r yarıçapından geçen Akım I';

$$I' = I.\frac{\pi(r^2-b^2)}{\pi(c^2-b^2)}$$

$$H_\phi . r . 2\pi = I - I'$$

$$H_\phi . r . 2\pi = I - I.\frac{\pi(r^2-b^2)}{\pi(c^2-b^2)}$$

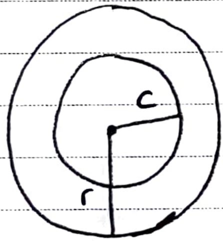
$$H_\phi . r\, 2\pi = I\left(1-\frac{(r^2-b^2)}{(c^2-b^2)}\right)$$

$$H_\phi . r . 2\pi = I.\left((c^2-\cancel{b^2})-r^2+\cancel{b^2}\right)$$

$$H_\phi . r . 2\pi = I.\,(c^2-r^2)$$

$$\boxed{H_\phi = \frac{I.(c^2-r^2)}{r.\,2\pi}}$$ #

d)



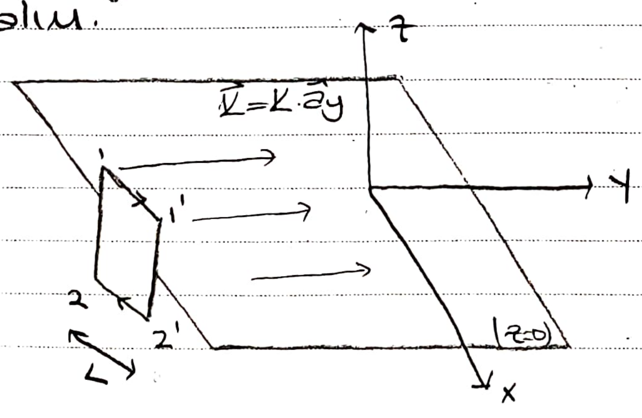
$c<r$

$$H_\phi . 2\pi r = I - I$$

$H_\phi 2\pi r = 0$ # olur.

⇒ Yüzeysel Akım Taşıyan Tabakanın Manyetik Alanı :

Şekildeki gibi $z=0$ düzleminde $\vec{K} = \vec{K}.\hat{a}_y$ (A/m) yüzeysel akım taşıyan bir tabaka göz önüne alalım. Bu tabakanın üstünde veya altında oluşan manyetik alanı bulalım. Bunun için şekildeki gibi 1,1',2',2,1 çevrim içi kullanılarak Amper Y. kullalalım.



$I = K \cdot b$ ə araştır.

$$\int_{1'1} \vec{H} dl + \cancel{\int_{1'2'} \vec{H} dl} + \int_{2'2} \vec{H} dl + \cancel{\int_{2'1} \vec{H} dl} = I = K \cdot L$$

akıya dik
sonuç "0"

$$\vec{H}_{x_1} + 0 - \vec{H}_{x_2} + 0 = K \cdot L$$

$$\vec{H}_{x_1} = -\vec{H}_{x_2}$$

$$2H_x \cdot \cancel{L} = K \cdot \cancel{L}$$

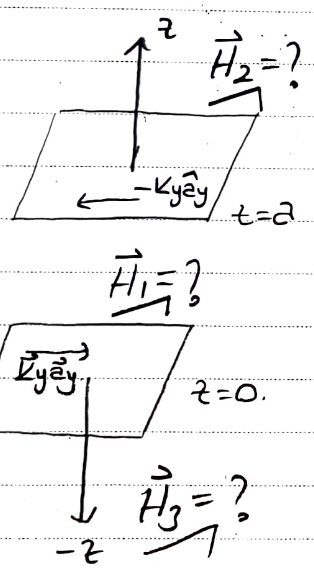
$$2H_x = K$$

$$H_x = K/2.$$

$$\boxed{\vec{H} = \frac{1}{2} \vec{K} \times \vec{a}_N} \quad (A/m)$$

manyetik tabakanın üstünde
* $I \, dl \times R = a_y \times a_z = a_x$ yönünde
tabakanın altında ise
* $-a_x$ yönünde

Soru $z=0$ düzleminde $\vec{K} = K_y \vec{a}_y$, $z=a$ düzleminde $\vec{K} = -K_y \vec{a}_y$ yüzeysel akımları geçmektedir. $0<z<a$ ve $z>a$ bölgesindeki manyetik alanları hesaplayınız. a// b//



a// $\vec{H}_1 = \vec{H}_+ + \vec{H}_-$ $(0<z<a)$

$$\vec{H}_+ = \frac{1}{2} K_y a_y \times \hat{a}_z = \frac{1}{2} K_y \hat{a}_x$$

$$\vec{H}_- = \frac{1}{2} K_y \cdot -a_y \times -a_z = \frac{1}{2} K_y (+a_x)$$

$$\sum \vec{H} = \frac{1}{2} K_y a_x + \frac{1}{2} K_y a_x$$

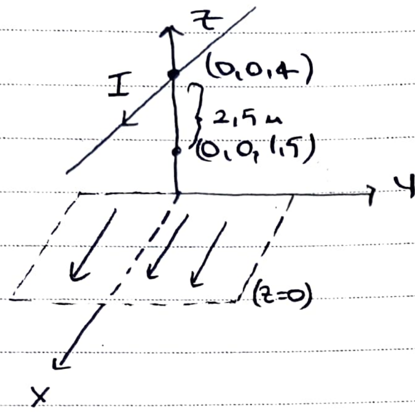
$$\boxed{\vec{H}_1 = K_y \hat{a}_x}$$

b// $z>a$

$$\sum \vec{H} = \vec{H}_+ + \vec{H}_- = \frac{1}{2} K_y \hat{a}_y \times (a_z) - \frac{1}{2} K_y a_y \times (a_z) = 0 \text{ olur. } (H_2)$$

$$\sum \vec{H} = \vec{H}_+ + \vec{H}_- = \frac{1}{2} K_y \hat{a}_y \times (-\hat{a}_z) - \frac{1}{2} K_y \hat{a}_y (-\hat{a}_z) = 0 \text{ olur } (H_3)$$

Soru: $z=0$ düzleminde $\vec{K}=6\vec{a}_x$ (A/m) yüzeysel akım taşıyan bir tabaka vardır. $z=4$ m de ise $\vec{a}_x$ yönünde I akımı taşıyan bir telde (sonsuz uzun) yerleşmiştir (0,0,1.5) noktasında oluşan toplam manyetik alan 0 olması için I akımı ne olmalıdır?



(0,0,1,5) noktasında tabakanın ve telin oluşturacağı manyetik alanlar eşit fakat zıt yönlü olmalı.

Toplam Manyetik Alan

$$\vec{H}=\frac{1}{2}\vec{K}\times\vec{a}_N$$

$$\vec{H}=\frac{1}{2}\cdot 6\,\vec{a}_x\times\vec{a}_z$$

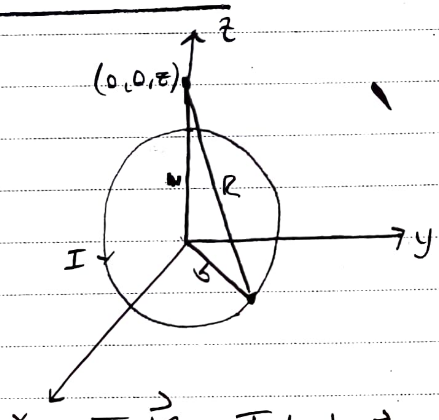
$$\vec{H}=3(-\vec{a}_y)$$

O Halde $\vec{H}_{tel}=3\vec{a}_y$ olmalı.

$$\vec{H}_t=\frac{I}{2\pi r}\underbrace{\vec{a}_\phi}_{\vec{a}_y}=\frac{I}{2\pi\,2{,}5}=3$$

$\boxed{I=47{,}1\ A}$ olmalı.

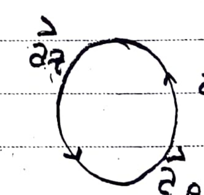
Soru:



$z=0$ düzleminde b yarıçaplı I akımı taşıyan dairesel bir halkanın ekseni üzerinde (0,0,z) noktasında oluşan manyetik alanın bağıntıyı bul.

$$\vec{R}=z\cdot\vec{a}_z-b\cdot\vec{a}_\rho$$

$$|\vec{R}|=(z^2+b^2)^{1/2}$$



$$I\,d\vec{l}=I\,b\,d\phi\,\vec{a}_\phi$$

$$d\vec{H}=\frac{I.b.d\phi\,a_\phi\,(z\vec{a}_z-b\vec{a}_\rho)}{4\pi(z^2+b^2)^{3/2}}$$

$$\xcancel{dH_\rho}^{\,0}+dH_z$$

↳ Manyetik alan sadece $\vec{a}_z$ yönünde

$$d\vec{H}_z=\frac{I\,b^2 d\phi\,\vec{a}_z}{4\pi(z^2+b^2)^{3/2}}$$

$$\vec{H}_z=\frac{I\,b^2\vec{a}_z}{4\pi(z^2+b^2)^{3/2}}\underbrace{\int_0^{2\pi}d\phi}_{2\pi}=\boxed{\frac{I.b^2}{2.(z^2+b^2)^{3/2}}\vec{a}_z}$$

$z=0$ 'da telin merkezinde ;

$$\boxed{\vec{H} = \frac{I}{2b}\vec{a}_z}$$

$z \gg b$ için

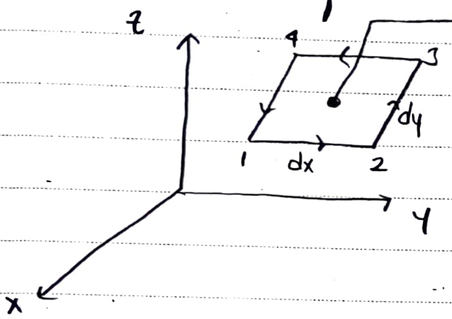
$$\vec{H} = \frac{I \cdot b^2}{2z^3}\vec{a}_z \quad (\pi \text{ ile çarpıp bölersek})$$

$$\vec{H} = \frac{I \underbrace{\pi b^2}_{\text{Alan}}}{2\pi z^3} \Rightarrow \boxed{\vec{H} = \frac{\underbrace{I \cdot A}_{\vec{m}}}{2\pi z^3}}$$

$\vec{m}$: manyetik dipol moment vektörü

$$\boxed{\Rightarrow \vec{H} = \frac{\vec{m}}{2\pi z^3}} \; (A/m)$$

⇒ ROTASYONEL $\vec{J}$



$$\vec{H} = H_x\vec{a}_x + H_y\vec{a}_y + H_z\vec{a}_z$$

Şekilde kenar uzunluğu dx, dy olan dikdörtgen çevrenin merkezinde $\vec{H}$ verilmiş olsun. Bu manyetik alanın kaynağını bulmak istiyoruz. Bunun için amper yasasını kullanalım.

$$\int_{1234} \vec{H}d\vec{l} = \int_{12} \vec{H}d\vec{l} + \int_{23} \vec{H}d\vec{l} + \int_{34} \vec{H}d\vec{l} + \int_{41} \vec{H}d\vec{l}$$

$$\int_{12} H d\vec{l} = H_{y_{12}} \cdot dy = \left(H_{y_0} + \frac{dx}{2} + \frac{\partial H_y}{\partial x} + \dots \right)$$

$$\oint H dl = \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right) dx\, dy$$

Her iki taraf dxdy bölünür, limit alınır.

$$\lim_{\substack{dx \to 0 \\ dy \to 0}} \frac{\oint H d\vec{l}}{dx \cdot dy} = \vec{J}_z$$

$$\begin{vmatrix} \vec{a}_x & \vec{a}_y & \vec{a}_z \\ \partial/\partial x & \partial/\partial y & \partial/\partial z \\ H_x & H_y & H_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} J_x \\ J_y \\ J_z \end{vmatrix}$$

$$\boxed{\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}} \; (\text{akım yoğ.})$$

Ödev:

a yarıçaplı z eksenine yerleştirilmiş sonsuz uzun telden kesitine düzgün dağılmış olarak toplam I akımı geçmektedir. $\vec{\nabla}\times\vec{H}=?$ ifadesini telin içinde $(r<a)$ ve dışında $(r>a)$ bul.

$$\vec{H}=\frac{I}{2\pi\rho}\vec{a}_\phi \quad \text{(silindirik)}$$

silindirik koordinatlarda $\text{rot}\,\vec{H}=\vec{\nabla}\times\vec{H}=?$

$$\vec{\nabla}\times\vec{H}=\vec{a}_r\left[\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial H_z}{\partial\phi}-\frac{\partial H_\phi}{\partial z}\right)\right]+\vec{a}_\phi\left[\frac{\partial H_\rho}{\partial z}-\frac{\partial H_z}{\partial\rho}\right]+\vec{a}_z\frac{1}{\rho}\left[\frac{\partial}{\partial\rho}(\rho H_\phi)-\frac{\partial\rho}{\partial\phi}\right]$$

$$\vec{\nabla}\times\vec{H}\Big|_{r<a}=0+0+\vec{a}_z\frac{I}{\pi a^2}$$

$$\vec{\nabla}\times\vec{H}\Big|_{r<a}=\vec{J}=\text{sabit}$$

$\vec{\nabla}\times\vec{H}\Big|_{r>a}=0$ olur.

※ Telin içinde $H_\phi(r<a)=\dfrac{I}{2\pi a^2}\rho$

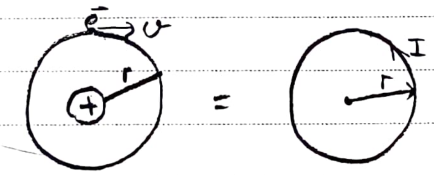
↳ ϕ bileşeni ρ ile değişiyor.

※ Telin dışında $H_\phi(r>a)=\dfrac{I}{2\pi\rho}$

↳ ϕ bileşeni ρ ile ters orantılı değişiyor

NOT: Akım geçen her çevrim → Manyetik Dipol

ATOM: e^-, r yarıçaplı yörüngede ϑ hızıyla hareket ediyorsa;



bu durumda r yarıçaplı $I=\dfrac{-e}{\frac{2\pi r}{\vartheta}}$

$I=\dfrac{-\vartheta e}{2\pi r}$ (1) Akımın geçmesinin eşdeğeri

Bu durumda elektronun manyetik dipol momenti:

$$m_0=\frac{-\vartheta.e}{2\cancel{\pi}\cancel{r}}.\cancel{\pi}r^{\cancel{2}}$$

$$m_0=\frac{-\vartheta.e.r}{2}=-\left(\frac{e}{2m_e}\right)L_e \longrightarrow \text{Açısal momentum.}$$

$$\boxed{L=p.r=m_e.\vartheta.r}$$ ※

 $L_e = \hbar$ → plank sabiti

$\vec{D}$ = deplasman vektörü (C/m^2)
(Elektriksel Akı yoğ.)
$\vec{E}$ = Elektriksel Alan (V/m)

$\vec{D} = \varepsilon_0 \cdot \vec{E}$ (boşluk için)
↳ boşluğun dielektriği

* Boşluk dışında ise;
$\vec{D} = \varepsilon_0 \cdot \vec{E} + \vec{P}$
↳ Polarizasyon vektörü

* Manyetik Alanlar için;

$\vec{B}$ = Manyetik Akı yoğunluğu (T) → Tesla
$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$ (boşluk) (wb/m^2)

Boşluk dışında ise;

$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M}$ → Malzemenin birim hacimdeki manyetik dipol sayısı
↳ Manyetizasyon vektörü

Soru
Bir ferrit malzemede $\mu_r = 50$ (bağıl man. geçirgenlik) ve $\vec{B} = 0,05$ (T)'dir. $\mu_r = 1 + \chi_m$ ve $\vec{B} = \mu_r \mu_0 \vec{H}$ ise $\vec{M} = \chi_m \vec{H}$ olduğuna göre mıknatıslanmayı bulunuz. ($\vec{M} = ?$) ($\vec{H} = ?$)

$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \underbrace{\vec{M}}_{(\chi_m \vec{H})}$

$\vec{B} = \mu_0 H + \mu_0 \cdot \chi_m \cdot \vec{H}$

$\vec{B} = \mu_0 H (1 + \underbrace{\chi_m}_{\mu_r})$

$\vec{B} = \mu_0 \cdot H \cdot \mu_r$

$0,05 = 50 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \vec{H}$

$\boxed{\vec{H} = 796 \, (A/m)}$ *

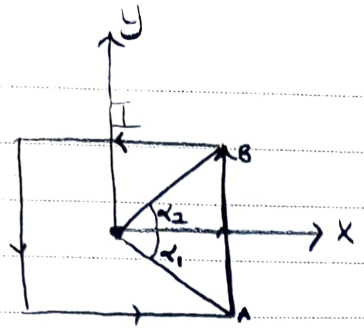
$\vec{M} = \chi_m \cdot H$

$\vec{M} = 49 \cdot 796$

$\boxed{\vec{M} = 39.000 \, (A/m)}$ *

Roche

Ödev



I akımı geçen 2a kenar uzunluklu kare şeklindeki devrenin merkezinde oluşan manyetik alanı veren bağıntıyı bul. ($z=0$ düzleminde) $\vec{H}=?$

sonlu uzunluklu telin $\vec{H}=\frac{I}{4\pi\rho}(\sin\alpha_2-\sin\alpha_1)\vec{a}_\phi$ idi.

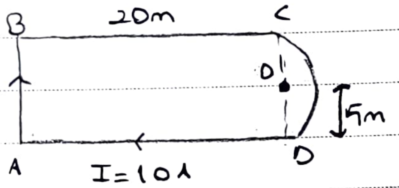
$\alpha_1=\alpha_2$ old. $\vec{H}=\frac{I}{4\pi\rho}(2\sin\alpha)\vec{a}_z$

$\vec{H}=\frac{I}{2\pi\rho}\sin\alpha$

$\sum\vec{H}=4\cdot\vec{H}=\frac{I}{\cancel{2}\pi\cdot a}\frac{\sqrt{2}}{\cancel{2}}\cdot\cancel{4}=\boxed{\frac{\sqrt{2}\,I}{\pi a}\vec{a}_z}$

(4 parmak akım, başparmak manyetik alan yönü ($\vec{a}_z$))

Ödev



Şekildeki devrenin O noktasındaki toplam manyetik alanı bul.

$\sum\vec{H}=\vec{H}_{ab}+\vec{H}_{bc}+\vec{H}_{CD}+\vec{H}_{DA}$'den yap.

$H_{çember}=\frac{Ib^2}{2\pi(z^2+b^2)^{3/2}}$'den merkezde ($z=0$) oluyor.

⇒ Manyetik Akı ve Manyetik Akı yoğunluğu: ($\vec{B}$)

$\vec{B}=\mu\vec{H}$ veya boşluk için $\vec{B}=\mu_0\vec{H}$'dir. (μ: H/m)

μ: manyetik geçirgenlik

$\mu=\mu_r\mu_0$ μ_r: bağıl manyetik geçirgenlik

$\mu_r=1+\chi_M$

$\vec{B}=\mu_0\vec{H}+\mu_0\vec{M}$

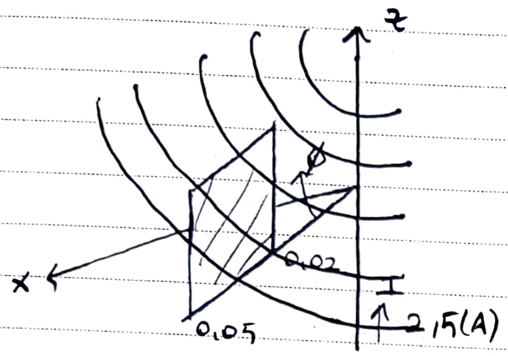
$M=\chi_M\cdot\vec{H}$

Manyetik Akı:

$\boxed{\Psi_m=\iint_S\vec{B}\cdot d\vec{s}}$ (Wb)

Ödev

2,5 A 'lik akım geçen sonsuz uzun telden z eksenine yerleştirilmiştir. $\phi = \pi/4$ 'de bulunan $0{,}01 \le r \le 0{,}05$ ve $0 \le z \le 2$ ile tanımlanan düzlemden geçen manyetik akıyı bulunuz.



$$\vec{H} = \frac{I}{2\pi r}\vec{a}_\phi$$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} = \mu_0 \frac{I}{2\pi r}\vec{a}_\phi$$

$$\Psi_M = \iint_S \vec{B}\,d\vec{s} = \iint \mu_0 \frac{I}{2\pi r}\,d\vec{s}$$

$d\vec{s} = dr.dz\,\vec{a}_\phi$

$$= \int_{0,01}^{0,05}\int_{0}^{2} \mu_0 \frac{I}{2\pi r}\vec{a}_\phi\,dr\,dz\,\vec{a}_\phi = 1{,}61(\mu Wb)$$

NOT: Bir dQ yükü $\vec{B}$ alanında $\vec{\vartheta}$ hızıyla hareket ediyorsa bu yüke etki eden manyetik kuvvet;

$d\vec{F} = dQ(\vec{B} \times \vec{\vartheta})$ 'dir. ρ_v (hacimsel yük yoğ.)

$dQ = \rho_v\,dv$ yazılırsa

$d\vec{F} = \rho_v\,dv\,(\vec{B} \times \vec{\vartheta})$ ve $J = \rho_v.\vec{\vartheta}$ kullanılırsa;

$\boxed{d\vec{F} = \vec{J}.dV \times \vec{B}}$ olur. $\boxed{J\,d\vec{v} = I.d\vec{\ell} = K.d\vec{s}}$ 'yazılır.

$I d\ell$ akım elemanına $\vec{B}$ akımının etkidiği kuvvet bağıntısı;

$\boxed{d\vec{F} = I.d\vec{\ell} \times \vec{B}}$ (N)

Sor!

Bir akım tarafından oluşturulan manyetik alan $\vec{H}=[y\cos(\alpha x)]\vec{a}_x+(y+e^x)\vec{a}_z$ verilmektedir. yz düzlemindeki akım yoğunluğunu bulunuz. ($\vec{J}=?$)

$$\vec{J}=\vec{\nabla}\times\vec{H}=\begin{vmatrix}\vec{a}_x & \vec{a}_y & \vec{a}_z\\ \partial/\partial x & \partial/\partial y & \partial/\partial z\\ y\cos(\alpha x) & 0 & y+e^x\end{vmatrix}=\vec{a}_x\begin{vmatrix}\partial/\partial y & \partial/\partial z\\ 0 & y+e^x\end{vmatrix}-\vec{a}_y\begin{vmatrix}\partial/\partial x & \partial/\partial z\\ y\cos(\alpha x) & y+e^x\end{vmatrix}$$

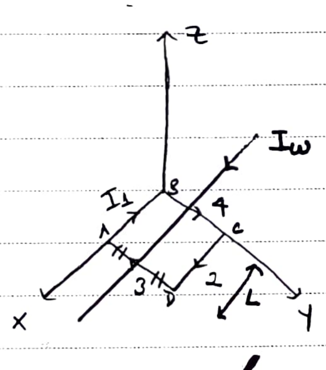
$$+\vec{a}_z\begin{vmatrix}\partial/\partial x & \partial/\partial y\\ y\cos(\alpha x) & 0\end{vmatrix}$$

$$=\vec{a}_x\,.1-\vec{a}_y e^x-\vec{a}_z\cos(\alpha x)\Big|_{x=0}$$

$$=\vec{a}_x-\vec{a}_y-\vec{a}_z$$

$$\vec{J}=\vec{\nabla}\times\vec{H}\Big|_{x=0}=\vec{a}_x-\vec{a}_y-\vec{a}_z$$

Sor!



L=1 m

Üzerinden 70 A geçen kare şeklindeki iletken bir devre bir köşesi orijin, diğer iki kenarı ise x ve y-eksenlerinin pozitif tarafına oturdu. 100 A 'lik akım geçen sonsuz uzun bir tel x-eksenine 1 m uzaklıkta paralel akım geçirmekte olup xy-düzlemine (z=0) yerleşmiştir. Sonsuz uzun telin bu kare biçimli devreye uyg. toplam kuvveti bulunuz.

$F=i.\vec{L}\times\vec{B}$ ⇔ Iw akımının 1,2 nolu kenarlarda oluşturduğu $\vec{B}$ manyetik akı yoğunluğu eşit ve zıttır.

$$\rho=\frac{L}{2}=B_1=B_2=\frac{\mu_0.I_w}{2\pi\,L/2}$$

$$\boxed{\vec{B}=\frac{\mu_0.I_w}{\pi L}}\qquad \sum\vec{F}=\vec{F}_1+\vec{F}_2+\vec{F}_3+\vec{F}_4$$

F_3+F_4 Toplamı sıfır

$$=i.L.\underbrace{(-\vec{a}_x)\times(-\vec{a}_z)}_{-\vec{a}_y}.\vec{B}+i.L\underbrace{(+\vec{a}_x)\times(\vec{a}_z)}_{-\vec{a}_y}B+\overbrace{F_3+F_4}$$

$$=(-\vec{a}_y)\,2\,i\,L.\vec{B}$$

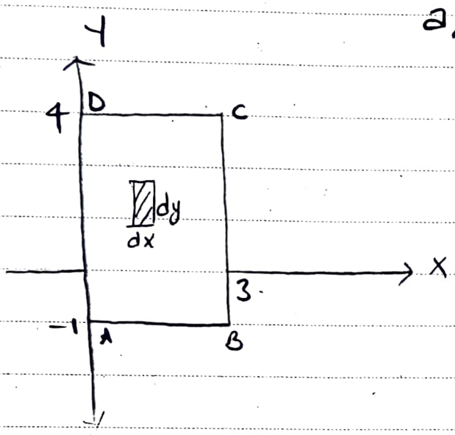
$$\sum \vec{F} = 2 \cdot i \cdot L \cdot (-\vec{a}_y) \cdot \vec{B}$$
$$= 2 \cdot I \cancel{L} \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_w}{\pi \cancel{L}}$$

$$\sum \vec{F} = \frac{2 \cdot I \cdot \mu_0 \cdot I_w}{\pi} = \frac{2 \cdot 70 \cdot \mu_0 \cdot 100}{3{,}14} = -5{,}6 \cdot 10^{-3} \, (N) \ \#$$

Soru $z=0$ düzleminde $\vec{H} = y\vec{a}_x - x\vec{a}_y$ (A/m) veriliyor.

a) Akım yoğ. bulunuz

b) Manyetik alanın $z=0$, $0<x<3$, $-1<y<4$ dikdörtgen çevre boyunca sirkülasyonunu hesapla.



a// $\vec{J} = \vec{\nabla} \times \vec{H} = \begin{vmatrix} \vec{a}_x & \vec{a}_y & \vec{a}_z \\ \partial/\partial x & \partial/\partial y & \partial/\partial z \\ y & -x & 0 \end{vmatrix} = -2\vec{a}_z$ (A/m^2)

b//

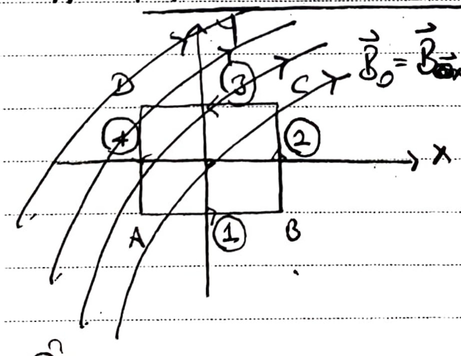
$$I = \iint_S I d\vec{s} = \int_{x=0}^{3}\int_{y=-1}^{4} (-2\vec{a}_z)\, \vec{dx} \cdot \vec{dy} \cdot \vec{a}_z = -2 \cdot 3 \cdot 5 = \underline{-30} \, (A)$$

II. yol (ÖDEV)

$$\oint_{ABCDA} \vec{H} d\vec{l} = \int_{AB} \vec{H} d\vec{l} + \int_{BC} \vec{H} d\vec{l} + \int_{CD} \vec{H} d\vec{l} + \int_{DA} \vec{H} d\vec{l}$$
$$= \int_0^3 (y\vec{a}_x + x\vec{a}_y)\, dx\, \vec{a}_x \Big|_{y=-1} + \int_{-1}^{4} (y\vec{a}_x - x\vec{a}_y)\, dy\, \vec{a}_y \Big|_{x=3} + \dots$$

yap.

MANYETİK DİPOLE ETKİYEN TORK (τ) ($\vec{\tau} = \vec{R} \times \vec{F}$)



$$\vec{B}_0 = \vec{B}_{0x} \cdot \vec{a}_x + \vec{B}_{0y} \cdot \vec{a}_y + \vec{B}_{0z} \cdot \vec{a}_z$$

Şekildeki gibi kenar uzunluğu dx, dy olan ve i akımı geçen bir çevrimin ortasındaki manyetik alan $\vec{B}_0$ olarak verilmiş olsun. Bu manyetik alanı her bir kenara uyguladığı kuvveti ve oradan Torku yazalır. Örneğin 1'no kenara etkiyen kuvvet;

$$d\vec{F}_1 = I dx\, \vec{a}_x \times \vec{B}_0 = I dx\, \vec{a}_x \times (B_{0x}\vec{a}_x + B_{0y}\vec{a}_y + B_{0z}\vec{a}_z)$$
$$= I dx\,(B_{0y}\vec{a}_z - B_{0z}\vec{a}_y)$$

ve Tork;

$$d\vec{\tau}_1 = \vec{R} \times d\vec{F}_1 = \frac{dy}{2}(-\vec{a}_y) \times I dx\,(B_{0y}\vec{a}_z - B_{0z}\vec{a}_y)$$
$$= I dx \frac{dy}{2} B_{0y}(-\vec{a}_x)$$

Benzer şekilde 3'nolu kenar için işlem yapılırsa;

$$d\vec{\tau}_3 = \vec{R} \times d\vec{F}_3$$
$$= \tfrac{1}{2} I dx\, dy\, B_{0y}(\vec{a}_x)$$ olur.

Aynı şekilde 2 ve 4 içinde yapılırsa;

Toplam Tork

$$d\vec{\tau} = d\tau_1 + d\tau_2 + d\tau_3 + d\tau_4 = I dx dy\,(B_{0x}\vec{a}_y - B_{0y}\vec{a}_x) = I dx dy\,(\vec{a}_z \times \vec{B}_0)$$
$$= I d\vec{s} \times \vec{B}_0$$
$$= d\vec{m} \times \vec{B}_0$$

Sonuç;

$\boxed{\vec{\tau} = \vec{m} \times B}$ manyetik dipole etkiyen Tork.

※ SKALER MANYETİK POTANSİYEL VE VEKTÖREL MANYETİK POTANSİYEL

$\vec{E} = -\vec{\nabla} . V$ idi.

Bu bağıntının benzeri statik manyetik alanlar için;

$$\underset{(A/m)}{\vec{H}} = \underset{(1/m)}{-\nabla} . \underset{(A)}{V_m}$$

V_m: skaler manyetik potansiyel fonk.

※ V_m sadece $J = 0$ olan bölgelerde tanımlıdır.

Eğer $\vec{B}$ vektörü bir $\vec{A}$ vektörü cinsinden $\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$ şeklinde ifade edilebiliyor. (Wb/m)

$\vec{A}$: Vektörel manyetik pot.

$J = \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{\nabla} \times \left(\frac{B}{\mu_0}\right)$

$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 . \vec{J}$

$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{A}) = \mu_0 \vec{J}$

$\vec{\nabla} . (\underbrace{\vec{\nabla} . \vec{A}}_{0}) - \vec{\nabla}^2 \vec{A} = \mu_0 \vec{J}$

Sonuç: $\boxed{\vec{\nabla}^2 \vec{A} = -\mu_0 \vec{J}}$ ➜ $\boxed{\vec{\nabla}^2 V = \frac{\rho_v}{\varepsilon_0}}$

NOT:

Skaler Manyetik Potansiyel $= V_m$ birimi Amper

Vektörel Manyetik Potansiyel $= \vec{A}$ birimi (Wb/m)

ÖDEV

$\vec{A} = \frac{\rho^2}{4} \vec{a}_z$ (Wb/m) veriliyor. $\phi = \pi/2$ $1 \leq \rho \leq 2$, $0 \leq z \leq 5$ yüzeyinden geçen toplam manyetik akıyı bulunuz.

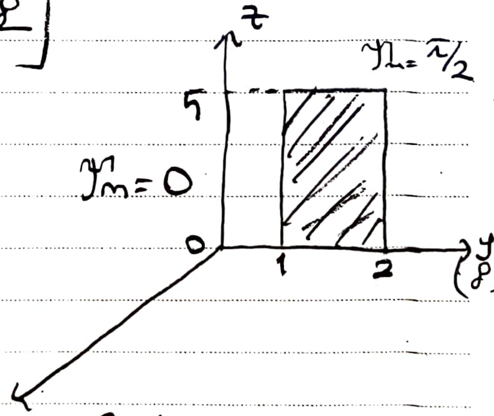
$\Psi_m = \iint \vec{B} d\vec{s} =$ 'den bulunuyor.

$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$ silindirik koordinatlarda.

$$\vec{\nabla} \times \vec{A} \Big|_{\text{silindir.}} = \vec{a}_\rho \left[\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial A_z}{\partial \phi} - \cancel{\frac{\partial A_\phi}{\partial z}}\right)\right] + \vec{a}_\phi \left[\cancel{\frac{\partial A_\rho}{\partial z}} - \frac{\partial A_z}{\partial \rho}\right]$$

$$+ \vec{a}_z \frac{1}{\rho}\left[\cancel{\frac{\partial}{\partial \rho}(\rho A_\phi)} - \cancel{\frac{\partial A_\rho}{\partial \phi}}\right]$$

$$\vec{B} = -\frac{\partial A_z}{\partial \rho} = \frac{-\rho}{2} \vec{a}_\phi$$



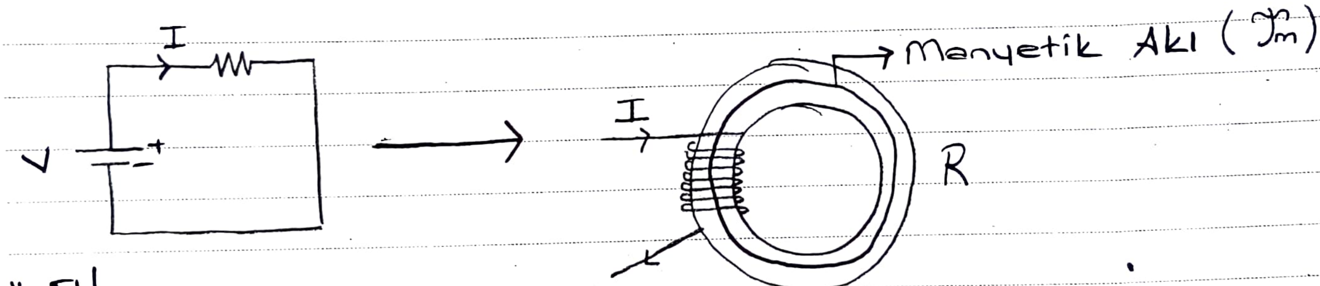
$$\Psi_m = \iint \vec{B} d\vec{s} = \int_1^2 \int_0^5 \frac{-\rho}{2} \vec{a}_\phi$$

*

※ MANYETİK DEVRE

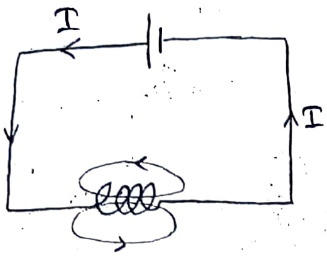
İçerisinde manyetik akının ($\Upsilon = \iint \vec{B} d\vec{s}$) dolaştığı kabul edilen devrelere (toroid, trafo, kesiciler...) manyetik devre olarak kabul edilir. Elektrik devrelerindeki kavramların manyetik devrelere uyarlanması aşağıdadır.

Elektrik	Magnetik
iletkenlik (σ)	Manyetik geçirgenlik (μ)
Elektrik Alan (E)	Manyetik alan (H)
Akım ($I = \iint I d\vec{s}$)	Manyetik akı ($\Upsilon = \iint \vec{B} d\vec{s}$)
Akım yoğunluğu ($J = \frac{I}{S} = \sigma E$)	Manyetik Akı Yoğ. ($B = \Upsilon / S = \mu H$)
Emk (V)	Magnomotor kuv. (F (A sarım))
Ohm Yasası ($R = \frac{V}{I} = \frac{\ell}{\sigma . S}$)	Relüktans ($R = F/\Upsilon = \frac{\ell}{\mu S}$)
$V = I . R$	$F = H.\ell = \Upsilon . R = N . I$



ÖDEV

İNDÜKTANS



- Şekildeki devreden geçen I akımı her bir sarımda $\psi = \iint \vec{B} \cdot d\vec{s}$ (wb) manyetik akısı üretir. Sarım sayısı N ise toplam manyetik akı:
$\lambda = N \cdot \psi$ olup devreden geçen I akımıyla orantılıdır. Orantı sabiti L olsun. Bu durumda $\lambda = L \cdot I = N \cdot \psi$ bağıntısı geçerli olup L orantı sabitine 'indüktans' denir.

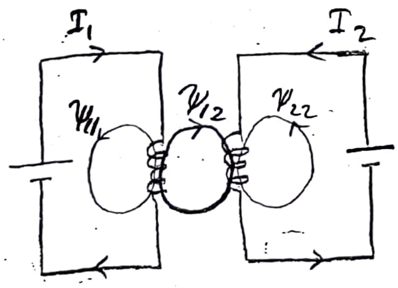
$$\boxed{L = \frac{N \cdot B \cdot A}{I}} \qquad \boxed{\lambda = N \cdot \psi}$$

$$\boxed{L = \frac{\lambda}{I} = \frac{N \cdot \psi}{I} \; (H)} \rightarrow \text{Henry}$$

* L sabiti, devrede depolanan manyetik enerjinin bir ölçüsü olup manyetik enerji:

$$\boxed{W_m = \frac{1}{2} L I^2 \; (J)}$$ ile verilir.

veya $$\boxed{W_m = \iiint \frac{B^2}{2\mu} \cdot dv \; (J)}$$ idi.



iki devre arasındaki manyetik etkileşme

ψ_{11}: 1 nolu devrenin kendi üzerinde oluşturduğu manyetik akı.

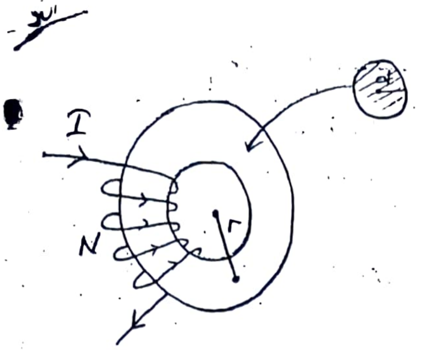
ψ_{12}: 2 nolu devrenin 1'e etkisi.

$$\psi_{12} = \iint \vec{B}_2 \cdot d\vec{s}_1$$

etki 1 nolu devreye old. için ondan kesit alınır.

$$M_{12} = \frac{\lambda_{12}}{I_2} = \frac{N_1 \cdot \psi_{12}}{I_2} \quad ; \quad M_{21} = \frac{\lambda_{21}}{I_1} = \frac{N_2 \cdot \psi_{21}}{I_1}$$

karşıt indüktans
(2. devrenin 1. devreye)



Kesit yarı çapı $d=1m$ olan 1 km etkin yarıçaplı, 150.000 sarımlı toroidden 100kA akım geçiyor.

A) Toroid içindeki $B=?\ (T)$

B) Toroid içinde depolanan manyetik enerji=?

c) 100MW enerji ihtiyacı olan bir şehirde enerji kesintisi olunca bu halkadan ne kadar süre şehre enerji sağlanır?

$$\oint H\cdot dl = I_{toplam} \Rightarrow \oint H\,dl = N.I$$

$$H.2\pi r = N.I \Rightarrow H = \frac{NI}{2\pi r}$$

$$B = \mu_0.H \Rightarrow B = \frac{N.\mu_0.I}{2\pi r}$$

$$B = \frac{15000.4\pi.10^{-7}.10^{5}}{2\pi 10^{3}} = 3\ (T)$$

b) $\psi = \iint B.ds = 3\pi.d^2_{1m} = 9{,}42\ (wb)$

λ : toplam akı $= N.\psi$; $L = \frac{\lambda}{I}\ (H)$

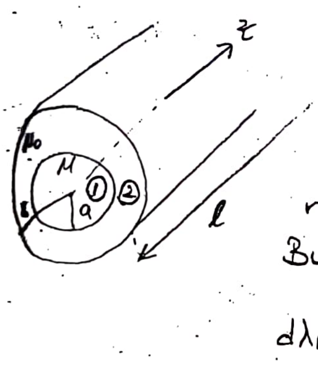
$$L = \frac{15.10^4.(9{,}42)}{10^5} = 14{,}14\ (H$$

$$W = \frac{1}{2}.L.I^2 = 7{,}07.10^{10}\ (J)$$

c) $W = P.t$ güç (verildi)

$$t = \frac{W}{P} = \frac{7{,}07.10^{10}}{100.10^6} = 707\ (s) \cong 11\ dk, 47sn.$$

Örnek: İç yarıçapı a, dış yarıçapı b olan ℓ uzunluklu koaksiyel kablonun self (öz) indüktansını bulunuz.



$0 \le r \le a$ için $\vec{B}_i = \frac{\mu.I.r}{2\pi a^2}.\hat{a}_\phi \rightarrow$ iç indük.-($L_{iç}$)

$a \le r \le b$ için $\vec{B}_2 = \frac{\mu_0.I}{2\pi r}.\hat{a}_\phi \rightarrow$ dış in. ($L_{dış}$)

dr kalınlıklı sonsuz küçük dz uzunluğundan geçen manyetik akı $d\psi_1 = B_i.dr.dz$ yüzey (ds_i)

Bu durumda toplam akı.

$$d\lambda_1 = d\psi_1.\frac{\pi r^2}{\pi a^2} = \frac{\mu.I.r}{2\pi a^2}.\frac{\pi r^2}{\pi a^2}.dr.dz.$$

$$\lambda_1 = \frac{\mu.I}{2\pi a^4}\int_0^{\ell}\int_0^{a} r^3.dr.dz = \frac{\mu.I.\ell}{2\pi a^4}.\frac{a^4}{4} = \frac{\mu I.\ell}{8\pi}\ (wb);$$

$$\boxed{L_{iç} = \frac{\lambda_1}{I} = \frac{\mu.\ell}{8\pi}\ (H)}$$

dış indüktans için;

$$d\Psi_2 = B_2 . dr . dz = \frac{\mu . I}{2\pi r} . dr . dz \Rightarrow \lambda_2 = \Psi_2 = \frac{\mu . I}{2\pi} \int_a^b \int_0^l \frac{dr . dz}{r}$$

$$= \frac{\mu . I . l}{2\pi} \ln (b/a)$$

$$L_{dış} = \frac{\lambda_2}{I} = \frac{\mu . l}{2\pi} . \ln (b/a)$$

normal μ ... isteken etkisi var (?)

α toplam indüktans:

$$L = \underset{(seri)}{L_{iç} + L_{dış}} = \frac{\mu . l}{8\pi} + \frac{\mu_0 . l}{2\pi} \ln (b/a)$$

ödev; Aynı sorunun II. çözüm yolu; (enerji bağıntısıyla çözümü yap.)

$$L = \frac{2 W_m}{I^2} \text{ idi:} \quad W_1 = \iiint \frac{B_{iç}^2}{2\mu} . dV (J) \quad W_2 = \iiint \frac{B_{dış}^2}{2\mu} . dV (J)$$

$=B_1$, $=B_2$

$(dV = r . dr . d\phi . dz .)$ (silindirik)

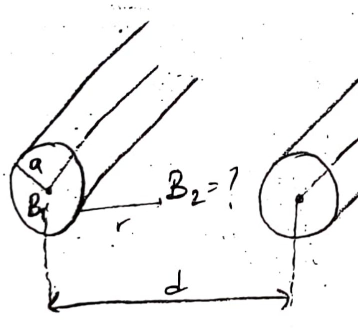
$$\oint H_{iç} . dl = I . \frac{\pi r^2}{\pi a^2}$$

$$H_{iç} = \frac{I}{2\pi r} . \frac{r^2}{a^2} \Rightarrow B_{iç} = \frac{\mu_0 I r}{2\pi a^2}$$

soru: Eksenleri arasında d açıklığı bulunan ve herbirinin yarıçapı a olan iki telli iletim hattının uzunluk başına toplam indüktansını bulunuz.

∗ önceki problemden a yarıçaplı I akımı geçen telin (soldaki) indük.

$0 \leq r \leq a$ bölgesinde $L_1 = \frac{\mu . l}{8\pi}$



∗ kablolar arası bölge için:

$a \leq r \leq (d-a)$ bölgesinde:

$$\lambda_2 = \int_{r=a}^{d-a} \int_0^l \frac{\mu . I}{2\pi r} . dr . dz = \frac{\mu . I . l}{2\pi} . \ln \left(\frac{d-a}{a} \right)$$

$$L_2 = \frac{\lambda_2}{I} = \frac{\mu . l}{2\pi} . \ln \frac{d-a}{a}$$

ikisinde de hem kendi hem de kablo dışı ind. var.

$$L = \text{toplam indüktans} = 2 . (\lambda_1 + \lambda_2)$$

$$L = \frac{\mu . l}{\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{d-a}{a} \right) (H)$$

d>>a ise:

$$L' = \frac{L}{l} = \underset{\text{başına}}{\text{uzunluk}} = \frac{\mu}{\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{d-a}{a} \right) (H/m) \simeq \frac{\mu}{\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{d}{a} \right) (H/m)$$

Zamanla değişen Alanlar

$$emk = \mathcal{E} = -\frac{d\Psi_m}{dt} \ (V) \quad \text{(Faraday Y.)}$$

$$\Psi_m = \iint \vec{B}\cdot d\vec{s}$$

$$\oint_c \bar{E}\cdot d\bar{\ell} = -\frac{d}{dt}\iint \vec{B}\cdot d\vec{s}$$

$$\iint_s (\vec{\nabla}\times\vec{E})\cdot d\vec{s} = \iint -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\cdot d\vec{s}$$

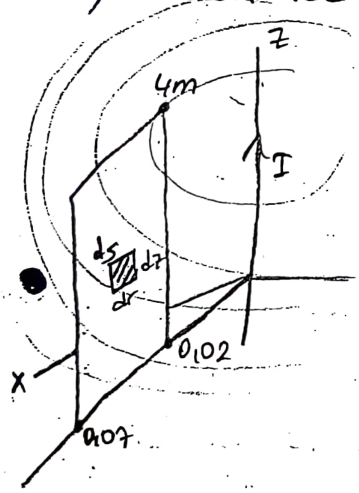
sonuç:

$$\boxed{\vec{\nabla}\times\vec{E} = -\frac{\partial B}{\partial t}} \Rightarrow \text{Maxwell I. Y (Faraday)(?)}$$

soru) Üzerinden I akımı geçen sonsuz uzun bir tel z eksenine yerleşmiştir.

I. $\phi = \pi/3$, $0{,}02 \leq r \leq 0{,}07m$ ve $0 \leq z \leq 4(m)$ de tanımlanan iletken bir devre verilmektedir.

a) $I = 10A$ ise çerçevede oluşan manyetik akı=?



$$\Psi_m = \iint \vec{B}\cdot d\vec{s} = \int_0^4\int_{0{,}02}^{0{,}07} \frac{\mu_0 . I}{2\pi r}\cdot a_\phi . dr\, dz . a_\phi$$

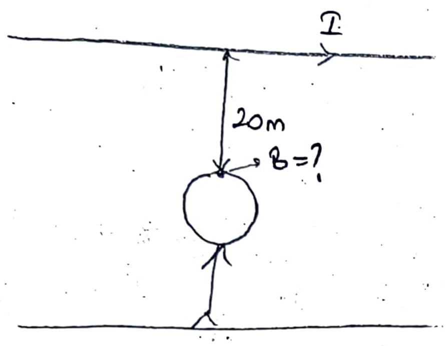
$$\Psi_m = \frac{\mu_0 . I}{2\pi}\cdot 4 . \ln\frac{7}{2} \ (wb)$$

b) $I = 5t+10\ (A)$ ise çerçevede indüklenen gerilimi bulunuz.

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Psi_m}{dt} = -\frac{\mu_0}{2\pi}\cdot 4 . \ln\frac{7}{2}\cdot\frac{d}{dt}(5t+10)$$

$$\mathcal{E} = -\frac{20\mu_0}{2\pi} . \ln(7/2) \ (V)$$

SORU 50 Hz frekansta 100 A lık akım taşıyan bir telden 20m uzaklıkta bulunan bir adamın kafasında indüklenen elektrik alanını ve 10cm yarıçaplı kafa içerisindeki 10 μm çapında olan hücrede oluşan gerilimi bulunuz.



$$B=\frac{\mu_0 . I}{2\pi r}=\frac{4.\pi.10^{-7}.100}{2.\pi.20}=10^{-6}(T)=1\mu T$$

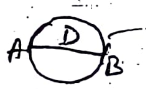
$$\oint_a \vec{E}.d\vec{l}=-\frac{d}{dt}\iint B\,ds$$

$$E.2\pi a=-j\omega B\pi a^2 \Rightarrow E=-j\frac{B.w.a}{2}$$

$$|E|=\frac{B.w.a}{2}=\frac{10^{-6}.2\pi.50.0{,}1}{2}=15.10^{-6}\,(V/m)$$

* 10μm çapındaki hücrede emk;

$$B=\frac{\mu_0 . I}{2\pi r}=\frac{4\pi.10^{-7}.100}{2\pi.20}=10^{-6}(T)$$



$$V_{AB}=E.D=15.10^{-6}.\underbrace{10.10^{-6}}_{\text{hücre çapı}}$$

$$\boxed{V_{AB}=150.10^{-12}\,(V)}$$

$$V_{AB}=150\,(pV)$$

Zamanla değişen alanlar ($B=\mu.H$)

$\nabla\times E=-\frac{\partial B}{\partial t}$ idi. $\nabla\times E=-\mu.\frac{\partial H}{\partial t}$ idi Maxwell I. Yasası (Faraday y.)

$\vec{\nabla}\times\vec{H}=\vec{J}$ (statik) → Amper yasası (statik hal ⇒ dc durum)

$\underbrace{\vec{\nabla}.(\vec{\nabla}\times\vec{H})}_{=0}=\underbrace{\vec{\nabla}.\vec{J}}_{\neq 0}$ → Bu bağıntıyı zamanla değişen haller için geçerli olması için sağ tarafa $\bar{G}$ düzeltme terimi ekleyelim ve tekrar bakalım. $\bar{G}=??$

$$\vec{\nabla}\times\vec{H}=\vec{J}+\vec{G}$$

$$\underbrace{\bar{\nabla}.(\bar{\nabla}\times\bar{H})}_{=0}=\bar{\nabla}\bar{J}+\bar{\nabla}\bar{G}$$

$$0=-\frac{\partial \rho_v}{\partial t}+\bar{\nabla}\bar{G}$$

$$\bar{\nabla}\bar{D}=\rho_v$$

$$\bar{\nabla}\bar{G}=+\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\nabla}\bar{D})$$

$$\bar{\nabla}\bar{G}=\bar{\nabla}.\left(\frac{\partial\bar{D}}{\partial t}\right)$$

$$\bar{G}=\frac{\partial\bar{D}}{\partial t}$$

süreklilik bağıntısı

$$\bar{\nabla}\bar{J}=\underbrace{-\frac{\partial\rho_v}{\partial t}}_{=C}\text{ idi}$$

Sonuç:

O halde statik durumda geçerli olan $\bar{\nabla} \times \bar{H} = \bar{J}$ Amper yasası; zamanla değişen durumda geçerli hale getirildi

ve $\bar{\nabla} \times \bar{H} = J + \underbrace{\frac{\partial \bar{D}}{\partial t}}_{J_d}$ veya $\boxed{\bar{\nabla} \times \bar{H} = \bar{J}_i + \bar{J}_d}$ → Genelleştirilmiş Amper Yasası (Maxwell II. Denk.)

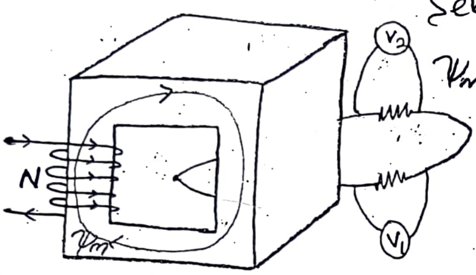
İletim akım yoğ. $J_i = \sigma E \,(A/m^2)$ — σ: iletkenlik sabiti (S/m)

depolanan (yer değiş. akım yoğ.) (A/m^2)

$D = \varepsilon . E$

$\frac{\partial D}{\partial t} = \varepsilon . \frac{\partial E}{\partial t} = \vec{J}_d$ → $\boxed{\bar{\nabla} \times \bar{H} = \sigma \bar{E} + \varepsilon . \frac{\partial \bar{E}}{\partial t}}$ → Maxwell II. 4. (Amper Y.)

Soru:



Şekildeki manyetik devrede many. akı: $\Psi_m = 3{,}75 . 10^{-3} . \sin 377 t \,(wb)$ bağıntısına göre zamanla değişmektedir. $R_2 = 10 R_1$ ise V_1 ve V_2 voltmetrelerinde okunan değerler nedir?

* Faraday yasasına göre indüklenen emk (ε): $\varepsilon = -\frac{d\Psi_m}{dt}$

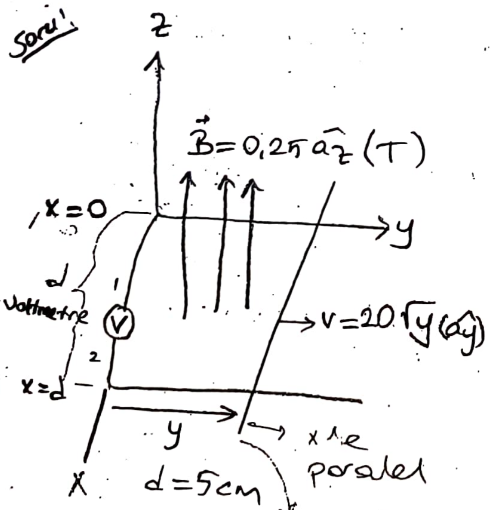
$$\varepsilon = -\frac{d\Psi_m}{dt} = -(3{,}75) . 377 . 10^{-3} . \cos 377 t \,(V) = -1{,}414 \cos 377 t$$

$$V_{rms} = \frac{1{,}414}{\sqrt{2}} = 1 (V) = V_1 + V_2 \qquad V_2 = 10 V_1 \text{ (dirençler seri)}$$

$$= 11 V_1 \Rightarrow V_1 = \frac{1}{11} (V) = 90{,}9 \,(mV)$$

$$V_2 = 909 \,(mV)$$

Soru:



hareket ettikçe yüzey genişler. $\Psi_m = \iint B \, ds$ ← Ψ_m değişir

Şekildeki gibi bir ucu V hızıyla hareket eden çerçeveden başlangıçta (t=0) y=4(cm)'de hareketli kenar bulunmaktayken t=0,06(s) geçince;

a) $V_y = ?$ b) $y = ?$

c) Voltmetrede okunan gerilim ve voltmetrenin direnci 200 kΩ ise volt. 1 numaralı ucundan giren akım = ?

$V_y = 20\sqrt{y} \rightarrow \frac{dy}{dt} = 20\sqrt{y} \rightarrow \frac{dy}{\sqrt{y}} = 20\,dt \rightarrow dy \cdot y^{-1/2} = 20 \cdot dt$

$\Rightarrow \boxed{2\sqrt{y} = 20t + k}$ (*) $\qquad t=0$'da $y = 4 \cdot 10^{-2}$

$\Rightarrow k = 0{,}4$

$2\sqrt{y} = 20t + 0{,}4$

$\sqrt{y} = 10t + 0{,}2$

$y(t=0{,}06) = (0{,}6+0{,}2)^2$

$\boxed{y(t=0{,}06) = 0{,}64}$

$\boxed{V = 20\sqrt{y} = 20 \cdot \sqrt{0{,}64} = 16\,(m/s)}$

voltmetrenin gösterdiği değer.

(c) $V = \mathcal{E} = -\frac{d\psi}{dt} = -\frac{d}{dt}(B \cdot S)$ → kesit

$y \cdot d$ (yüzey)

$V = \mathcal{E} = -\frac{d}{dt}(B \cdot y \cdot d) \qquad \mathcal{E} = -B \cdot d \cdot \frac{dy}{dt} = -B \cdot dv \qquad (V = h\iota z)$

$V = -0{,}25 \times 0{,}05 \times 16 = 0{,}2\,(V)$

Akım: $i = \frac{\mathcal{E}}{R} \rightarrow i = \frac{0{,}2}{200 \cdot 10^3} \Rightarrow i = 1\,(\mu A)$

Statik halde

→ $\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0$ ✓

→ $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}$ ✓

→ $\nabla^2 V = -\frac{\rho_v}{\varepsilon}$ süreklilik

→ $\nabla^2 \vec{A} = -\mu \cdot \vec{J}$ (dc)

→ $\vec{E} = -\vec{\nabla} V$ (statik)

→ $\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$ (dc) ✓

→ $V = \iiint \frac{\rho_v \cdot dv}{4\pi\varepsilon_0 R}$

→ $A = \iiint \frac{\mu \cdot \vec{J} \cdot dV}{4\pi R}$ (dc)

Zamanla değişen durum ✓

→ $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial B}{\partial t}$ — bir çıkardık çıkışlarına bak

→ $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}_i + \vec{J}_d$ → σE, $\varepsilon \cdot \frac{d\mathcal{E}}{dt}$

→ $\nabla^2 V = ?? = -\frac{\rho_v}{\varepsilon} + \mu\varepsilon \cdot \frac{\partial^2 V}{\partial t^2}$

→ $\nabla^2 A = ?? = -\mu \cdot \vec{J} + \mu \cdot \varepsilon \cdot \frac{\partial^2 A}{\partial t^2}$

→ $\vec{E} = -\vec{\nabla} V - \frac{\partial A}{\partial t}$ (çıkışına bak)

Sonuç: Zamanla değişen durumlarda em etkinin

$V = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}}\,(m/s)$ hızıyla yayılır.

→ $E = -\vec{\nabla} V$ ifadesini ele alalım.
- Bir kez daha rot alıyoruz.

$\vec{\nabla} \times \bar{E} = \underbrace{\vec{\nabla} \times (-\vec{\nabla} V)}_{=0}$ → $\vec{\nabla} \times \bar{E} = 0$ (zamanla değişen hal için uygun değil)
- Bu nedenle $\bar{N}$ gibi bir düzeltme terimi sağ tarafa ekleyelim.

→ $\bar{E} = -\vec{\nabla} V + \bar{N}$ → $\vec{\nabla} \times \bar{E} = \underbrace{\nabla \times (-\nabla V)}_{=0} + \nabla \times N$

$\vec{\nabla} \times \bar{E} = \vec{\nabla} \times \bar{N}$ → $\vec{\nabla} \times \bar{N} = -\frac{\partial B}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t}(\vec{\nabla} \times \bar{A})$ → $\vec{\nabla} \times \bar{N} = \vec{\nabla} \times \left(-\frac{\partial \bar{A}}{\partial t}\right)$

Sonuç: $\vec{N} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$ yani $\vec{E} = -\vec{\nabla} V - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$

* Arkadaki sonucun devamı:
# EM etkinin v sonlu hızıyla yayılması nedeniyle herhangi bir noktadaki potansiyel:

$$\boxed{V = \iiint_V \frac{[\rho_v] \cdot dv}{4\pi\varepsilon_0 R}}$$ → gecikmiş potansiyel.

$[\rho_v]$, ρ_v ifadesindeki her t zamanı için gecikmiş hali olan $t - \frac{R}{v}$ (bir önceki zaman)

örneğin: $\rho_v = e^{-r} \cdot \cos wt$ için
$[\rho_v] = e^{-r} \cdot \cos w\left(t - \frac{R}{v}\right)$

R → kaynaktan olan uzaklık.

- eğer boşlukta ise

$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$ hız ⟶ $v = c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \varepsilon_0}} = 3 \cdot 10^8$ (m/s)

Maxwell Denklemleri:

① $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\mu \cdot \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$

③ $\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0$

② $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \sigma \vec{E} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

④ $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$ (kaynaktan uzakta)

Maxwell I Denk. soldan rot alalım.

$$\bar{\nabla}\times(\bar{\nabla}\times\bar{E}) = \bar{\nabla}\times\left(-\mu.\frac{\partial\bar{H}}{\partial t}\right) = -\mu\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\nabla}\times\bar{H})$$

$$\nabla.\cancel{(\nabla.E)}^{0} - \nabla^2 E = -\mu\frac{\partial}{\partial t}\left(\sigma E + \varepsilon.\frac{\partial E}{\partial t}\right)$$

$$-\nabla^2 \bar{E} = -\mu.\sigma\cancel{\frac{\partial E}{\partial t}} - \mu.\varepsilon.\frac{\partial^2 H}{\partial t^2}$$ (kayıpsız ortamda $\sigma = 0$)

D'Alembert Denk. (dalga yayılımını tanımlar)

$$\boxed{\nabla^2\bar{E} - \mu\varepsilon.\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0}$$

$u(x,y,z,t) \to$ bir fiziksel olay.

$$\boxed{\nabla^2 u - \frac{1}{V^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0}$$ V = hız.

$$\Rightarrow V = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} \text{ (m/s)} \xrightarrow[\text{ise}]{\text{ortam boşluk}} V = c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}} = 3.10^8 \text{ (m/s)}$$

veya:

$$\nabla^2 H - \mu\varepsilon.\frac{\partial^2 H}{\partial t^2} = 0$$

$$V = \text{hız} = \frac{\lambda}{T} = \lambda.f$$

- çözüm tek uzaysal değişim için

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} - \mu\varepsilon.\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0$$ 'in çözümü $\Rightarrow E_x = E_{x0}.\cos w\Big(\underbrace{t - \frac{z}{V}}_{\text{zamanda gecikme}}\Big)$ şeklindedir.

$\to$ diğer çözümünde artısı $(+)$

Aslında $E_x(z,t) = E_x^+(z-vt) + E_x^-(z+vt)$

$z>0$ $\quad$ $z<0$

cos

$$\boxed{\nabla^2 E - \mu.\varepsilon.\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0}$$ denklemi = kayıpsız ortamda dalga denklemi

Çözümü:

$$E_x = E_{x0}.\cos w.\left(t - \frac{z}{V}\right) = E_{x0}.\cos w\left(t - z\sqrt{\mu.\varepsilon}\right)$$

veya $E_x = E_{x0}.\cos(wt - \beta z)$

$\beta = w.\sqrt{\mu\varepsilon}$ (faz sabiti)

Çözüm:

$E_x = E_{xo} \cdot \cos(\omega t - \beta z)$ olsun. ($E = E_{xo} \cdot \cos(\omega t - \beta z) \cdot a_x$) — fat: $\omega t - \beta z$

→ bu ne demek? → zıt işaretliyle dalga z yönünde ileri doğru ilerler

E: x yönünde salınım yapar — x yönünde salınım yapar.

E_{xo}: genlik

ve faz içindeki işaretler zıt işaretli old. dalga $z>0$ bölgesinde ilerler.

β: faz sabiti ($\beta = \omega\sqrt{\mu.\varepsilon}$) $\quad \sqrt{\mu\varepsilon}$: hızın tersi $= 1/v$

$$\beta = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi f}{\lambda f} \Rightarrow \boxed{\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \ (\text{rad/m})}$$ λ: dalga boyu

$$E_x = E_{xo} \cdot \cos\omega (t - z\sqrt{\mu\varepsilon})$$

$$E_x = E_{xo} \cdot \cos\omega \left(t - \frac{z}{v}\right)$$

Örneğin; İstanbul, Çamlıca'da 100MHz ile FM yayını 300km uzaklığa (Bolu) ne zamanda gecikir? — ω, ama soruda gerek yok.

$z = 300\text{km} = 300 \cdot 10^3 = 3 \cdot 10^5$ m

$v = c = 3 \cdot 10^8$ m/s alalım. $\quad \frac{z}{v} = t' = \text{gecikme} = \frac{3 \cdot 10^5}{3 \cdot 10^8} = 10^{-3}$ (s)

Not: Elektromanyetik dalga zamanla ω: açısal frekansıyla harmonik yayıldığı için Maxwell Denklemlerini ve dolayısıyla dalga denklemini E veya H alan bileşenlerini zamandan bağımsız fazör hali ile işlemler yapıp daha sonra elde edilen fazör ifadeler "$e^{j\omega t}$" ile çarpılıp reel kısmı seçilerek zamana bağlı ifadesi elde edilmiş olur.

$\frac{\partial}{\partial t}$ yerine → $j\omega$, $\frac{\partial^2}{\partial t^2}$ yerine → $-\omega^2$ yazarak Maxwell Denk. ve Dalga Denk. fazör hallerini bulalım:

Maxwell — "fazör" old. anlamına gelir.

① $\nabla \times E_s = -j\omega\mu \cdot H_s$ $\quad$ ③ $\nabla \cdot H_s = 0$ $\quad$ ④ $\nabla \cdot E_s = 0$

② $\nabla \times H_s = j\omega\varepsilon E_s$

Dalga

$\nabla^2 E_s + \omega^2 \mu \cdot \varepsilon \cdot E_s = 0$ → Helmholtz Dalga Denk.

$\frac{d\phi}{dt} = -N$ Eind

Çözüm = E_{xs} fazördür yani " $E_{sx} = E_{xo} e^{-j\beta z}$ " bunu

Zamana bağlı hali bulmak istenirse: $e^{j\omega t}$ ile çarpıp reelini al.

$$E_{xo} = Re\{E_{xo} \cdot e^{-j\beta z} \cdot e^{j\omega t}\} = E_{xo} \cdot Re\{e^{j(\omega t - \beta z)}\} = E_{xo} \cdot \cos(\omega t - \beta z)$$ bulunur.

Dalga denk. fazör haline: Helmholtz Dalga Denk. denir.

sorular

Bir elek. many. dalganın elek. alanı: $E_{xs} = E_o \cdot e^{-j\beta z}$ olsun. Bu dalgaya eşlik eden $\vec{H}$ imanyetik alan ifadesini bulun.

$\nabla \times E_s = -j\omega\mu \cdot H_s$ idi.

$$\begin{vmatrix} a_x & a_y & a_z \\ \partial/\partial x & \partial/\partial y & \partial/\partial z \\ E_x & 0 & 0 \end{vmatrix} = -j\omega\mu \cdot H_s$$

$$+a_y \frac{\partial (E_{xs})}{\partial z} = -j\omega\mu \cdot H_s$$

$$+a_y(-\cancel{j}\beta E_o \cdot e^{-j\beta z}) = -\cancel{j}\omega\mu \cdot H_s$$

$$a_y \cancel{\omega} \cdot \sqrt{\mu \cdot \varepsilon} \cdot E_o \cdot e^{-j\beta z} = \cancel{\omega}\mu \cdot H_s$$

$$H_s = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} \cdot E$$

$$H_s = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} \underbrace{E_o \cdot e^{-j\beta z}}_{E_{xs}} \cdot (a_y)$$

$\Rightarrow$ yani $\frac{E_{xs}}{H_{ys}} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \ (\Omega) = \eta$: karakteristik empedans.

$\sqrt{\frac{\mu_o}{\varepsilon_o}} = \eta_o$ = boşluk empedansı = 377 (Ω)

E ve H birbirine diktir.

Not!

$\vec{H} = \frac{1}{\eta} \cdot \vec{a_k} \times \vec{E}$ 'dir. veya $\vec{H} = \frac{1}{\eta} \cdot a_z \times \underbrace{\vec{a_x}}$ E'nin yönü

$\vec{E} = -\eta \cdot \vec{a_k} \times \vec{H}$ 'dır.

$\downarrow$ dalganın yayılma yönüne ait birim vek.

$$E_{xs} = E_o e^{-\alpha z} e^{-j\beta z} \Leftrightarrow E_x = E_o e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z)$$

KAYIPLI ORTAMDA ($\sigma \neq 0$) Dalga Yayılımı:

kayıpsız ortamlarda dalganın genliği hep sabitti.

- dalga denk : $\nabla^2 E = \mu . \sigma \frac{dE}{dt} + \mu . \varepsilon . \frac{d^2E}{dt^2}$

$\downarrow$ fazör hali

$\nabla^2 E_s = \mu . \sigma . j\omega . E_s - \omega^2 . \mu . \varepsilon . E_s$ olur.

$$\nabla^2 E_s = \underbrace{j\omega\mu(\sigma + j\omega\varepsilon)}_{\gamma^2} . E_s$$

$\nabla^2 E_s = \gamma^2 . E_s$

- $\nabla^2 E_s - \gamma^2 E_s = 0 \rightarrow E_{xs} = E_o . e^{-\gamma z}$

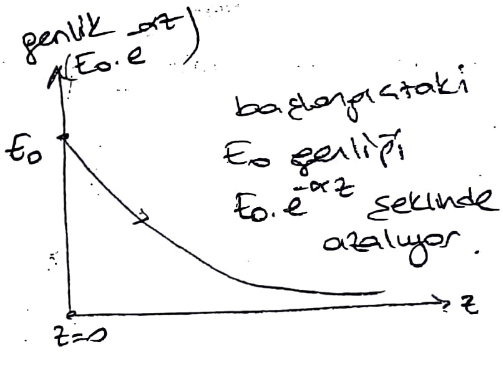
ve çözüm!

$E_{xs} = E_o . e^{-\alpha z} . e^{-j\beta z}$ veya $e^{j\omega t}$ ile çarpılıp reel kısmı seçilirse

$E_x = E_o . e^{-\alpha z} . \cos(\omega t - \beta z)$ veya

$E_o . e^{-\alpha z} \rightarrow$ genlik

$\vec{E} = E_o . e^{-\alpha z} . \cos(\omega t - \beta z) . \hat{a}_x$ (V/m)



başlangıçtaki E_o genliği $E_o . e^{-\alpha z}$ şeklinde azalıyor.

β : faz sabiti (rad/m)

α : zayıflama sabiti (NP/m)

- $\gamma = \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\varepsilon)}$ (rad/m) : propagasyon sabiti.

$\gamma = \alpha + j\beta = j\omega\sqrt{\mu\varepsilon} . \left(1 - j\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^{1/2}$

Maxwell II. Denkleminde $\sigma \neq 0$ olursa;

$\bar{\nabla} \times \bar{H}_s = \sigma . \bar{E}_s + j\omega\varepsilon . \bar{E}_s$ 'dir.

$\bar{\nabla} \times \bar{H}_s = j\omega\underbrace{\left(\varepsilon - j\frac{\sigma}{\omega}\right)}_{\varepsilon_c} . E_s$ olur.

ε_c = kompleks dielektrik

- $\varepsilon_c = \varepsilon' - j\varepsilon''$ olsun ve yerine konsun $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \bar{\nabla} \times \bar{H}_s = j\omega(\varepsilon' - j\varepsilon'').E_s$$

$$\bar{\nabla} \times \bar{H}_s = (\omega.\varepsilon'' + j\omega\varepsilon').E_s$$

$$\bar{\nabla} \times \bar{H}_s = \underbrace{\omega\varepsilon''.E_s}_{J_i:\ \text{reel kısım}} + \underbrace{j\omega\varepsilon'.E_s}_{J_d:\ \text{sanal kısım}}$$

(malzemede kayıpla ilgilidir)

örneğin; $E = E_0.\cos\omega t$ olsun. Malzemede harcanan güç $= \frac{1}{T}\int_0^T P.dt =$

$P = J_i.E = \sigma.E^2$

$\sigma.E$ veya $\omega\varepsilon''.E_0^2$

$$Güç = \frac{1}{T}\int_0^T \sigma.E_0^2.\cos^2\omega t.dt$$

$$\boxed{Güç = \frac{1}{2}\omega\varepsilon''.E_0^2 \ (W/m^3)}$$

old. göre kayıp var.

İYİ İLETKENLERDE PROPAGASYON; $(\sigma \gg \omega\varepsilon \Rightarrow$ iyi iletken$)$

çok büyük old. 1 ilavesi gerekmez.

$$\gamma = j\omega\sqrt{\mu\varepsilon}.\left(1 - j.\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^{1/2} \cong j\omega\sqrt{\mu\varepsilon}.\left(-j.\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^{1/2}$$

$$\gamma \cong j.(-j)^{1/2}.\sqrt{\sigma.\mu.\omega}$$

$$\gamma = j.\left(\frac{1}{\sqrt{2}} - j.\frac{1}{\sqrt{2}}\right)\sqrt{\sigma.\mu.\omega} \qquad \omega = 2\pi f.$$

$j = 1\angle 90$

$-j = 1\angle -90$

$(-j)^{1/2} = 1\angle 45$

$(-j)^{1/2} = \frac{1}{\sqrt{2}} - j\frac{1}{\sqrt{2}}$

$$\gamma = (1+j).\sqrt{\pi f \mu.\sigma} \equiv \alpha + j\beta$$

$\gamma = \alpha + j\beta$ old. göre $\alpha = \beta = \sqrt{\pi f \mu.\sigma}$

\# $\bar{E} = E_0.e^{-\alpha z}\cos(\omega t - \beta z).\hat{a}_x$ idi.

Dalga $z = \frac{1}{\alpha}$ (m) ilerlerse genlik $E_0.e^{-1} = \%36.E_0$ olur.

Dalganın genliğinin $0{,}36 E_0$ olmasına karşı gelen dalganın ilerlediği bu mesafeye $\delta = \frac{1}{\alpha}$ (m) "deri kalınlığı (penetrasyon)" denir.

dalga ilerlerken enerjisinin kaybediyor ener. %96'sı kay. mesafe

Soru:
1 (V/m) genlikli, $\mu_r = 1$, $\varepsilon_r = 20$, $\sigma = 0{,}5$ (S/m) ortamında yayılıyan bir dalga
$f = 5\,MHz$ ise dalganın bu ortamda 10 cm ilerlemesi durumunda genliği ne olur?

$\sigma \to$ küçük $\equiv$ kayıplı ortam (deri kalını kullanılamaz.)
Propagasyon sabiti bulunacak ($\gamma = \sqrt{j\underbrace{\omega}_{2\pi f}\mu(\sigma + j\omega\underbrace{\varepsilon}_{20.\varepsilon_0})}$)
kompleks sayı alacak

($\gamma = 4{,}44\angle 45{,}32$ (rad/m)
$= 4{,}44 \cos 45{,}32 + j\,(4{,}44) \sin 45{,}32$

$\gamma = \underbrace{3{,}12}_{\alpha} + j\,\underbrace{3{,}15}_{\beta}$

Genlik $= E_0 . e^{-\alpha z}\Big|_{z=0{,}1m} = 10 . e^{-3{,}12(0{,}1)} = 7{,}31$ (m)

$\vec{\nabla} \times \vec{E}_s = -j\omega\mu \vec{H}_s$

$\vec{\nabla} \times \vec{H}_s = j\omega\varepsilon E_s$

$\vec{\nabla} \vec{H}_s = 0$

$\vec{\nabla} \vec{E}_s = 0$

$E_x = E_0 \cos(\omega t - \beta z)$

$\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}$ (faz sabiti)

$E_x = E_0 \cos\omega\left(t - z\sqrt{\mu\varepsilon}\right)$

$E_x = E_0 \cos\omega\left(t - \frac{z}{\omega}\right)$

$\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon} = \frac{\omega}{V}$

$\beta = \frac{2\pi f}{\lambda f} = \frac{2\pi}{\lambda}$

ω V

$e_m = -N \frac{d\phi}{dt}$

$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} \longrightarrow$ static

$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}_i + \vec{J}_d \longrightarrow$ zamanla değişen

$\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \vec{J}_d$

$J_i = \sigma \vec{E}$

σ ↳ iletkenlik (siemens)

$\vec{\nabla}^2 \vec{E} + \beta^2 \vec{E} = 0$] kayıplı ortamda yazım

$D = \varepsilon E$

$B = \mu_0 H$

İsim + numara+ imza:.......

Sorular.

1) Amper yasasındaki ; deplasman akım yoğunluğu gibi bir terime neden ihtiyaç vardır açıklayınız?

2) 20 V/m genlikli, 98 MHz frekanslı bir elektromanyetik dalga v=0.1 c (c =3.10^8 m/s ışığın boşlukta yayılma hızı) – x yönünde 600 km yol aldığında elektrik alanının ifadesini çıkarınız.ve elde ettiğiniz bağıntıyı fazör hale çeviriniz.Ayrıca maxwell denklemleri kullanarak yayılan dalganın manyetik alanını bulunuz?

- $z = 600 \, km = 600 \times 10^3$

  $V = 0{,}1 \times 3 \times 10^8 = 3 \times 10^7 \, m/s$

- $V = \frac{1}{\sqrt{\mu \varepsilon}}$ Boşluk $\Rightarrow V = c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$

$\beta = \omega \sqrt{\mu \varepsilon} = \frac{\omega}{V}$

$\beta = \frac{2\pi \, 98 \times 10^6}{3 \times 10^7} = 20{,}52$

$E_x = E_{x_0} \cos(\omega t + \beta z) \, (-\hat{a}_x)$

$E_x = 20 \cos(196\pi t + 20{,}52 z) \, (-\hat{a}_x)$

- $E_{x_s} = E_{x_0} \, e^{-j\beta z}$

  $E_{x_s} = 20 \, e^{-j 20{,}52 z}$

- $\nabla \times E_s = -j\omega\mu H_s$

$$\begin{vmatrix} \hat{a}_x & \hat{a}_y & \hat{a}_z \\ \partial/\partial x & \partial/\partial y & \partial/\partial z \\ E_x & 0 & 0 \end{vmatrix} = -j\omega\mu H_s$$

$\hat{a}_y \frac{\partial}{\partial z}(E_{xs}) = -j\omega\mu H_s$

$H_s = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} \, E_0 \, e^{-j\beta z} \, (\hat{a}_y)$ $\left[\varepsilon = 8{,}85 \times 10^{-12} \, ; \, \mu = 4\pi 10^{-7} \right]$

$H_s = 2{,}65 \times 10^{-3} \times 20 \, e^{-j 20{,}52 z} \, (\hat{a}_y)$

• Sıfır Eşitsizlikleri

→ $\vec{\nabla}.(\vec{\nabla}\times\vec{A})=0$

→ $\vec{\nabla}\times(\nabla V)=0$

• $\vec{\nabla}.\vec{B}=0$

• $\vec{\nabla}\times\vec{B}=\mu_0 J$

• $\vec{\nabla}.\vec{E}=\rho_v/\varepsilon$

• $\vec{\nabla}\times\vec{E}=0$

Manyetik Enerji
Tork
Manyetik Devre

• Diverjans Teo.

$$\int_V \vec{\nabla}\vec{A}\,dv=\oint_S \vec{A}\,d\vec{s}$$

• Stokes Teo

$$\int_S \vec{\nabla}\times\vec{A}\,d\vec{s}=\oint_C \vec{A}\,d\vec{l}$$

x y z
r ϕ z
r θ ϕ

• $\oint_S \vec{B}\,d\vec{s}=0$

• $\boxed{\oint_C \vec{B}\,d\vec{l}=\mu_0 I}$ (Amper devre yasası)

• Diferansiyel | İntegral

$\vec{\nabla}.\vec{B}=0$ | $\oint_S \vec{B}\,d\vec{s}=0$

$\vec{\nabla}\times\vec{B}=\mu_0\vec{J}$ | $\oint_C \vec{B}\,d\vec{l}=\mu_0 I$

Manyetik Vektör Potansiyeli

• $\boxed{\vec{B}=\vec{\nabla}\times\vec{A}}$ (manyetik vektör potansiyeli) (Wb/m)

• $\nabla^2\vec{A}=-\mu_0\vec{J}$ (vektör poisson denk.)

• $\nabla^2 V=-\frac{\rho_v}{\varepsilon_0}$ $\Longrightarrow$ $V=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int\frac{\rho_v}{R}\,dv'$

• $\nabla^2 A=-\mu_0 J$ $\Longrightarrow$ $\boxed{A=\frac{\mu_0}{4\pi}\int\frac{J}{R}\,dv'}$

Hazır çözüm

Manyetik Akı

• $\phi=\oint_S \vec{B}\,d\vec{s}$

• $\phi=\int(\vec{\nabla}\times\vec{A})\,ds \xrightarrow{\text{stokes}} \phi=\oint_C \vec{A}\,d\vec{l}$

Biot-Savart

• $I=J\,ds$

• $\boxed{\vec{A}=\frac{\mu_0 I}{4\pi}\int\frac{d\vec{l}'}{R}}$

• $\vec{B}=\vec{\nabla}\times\left[\frac{\mu_0 I}{4\pi}\int\frac{d\vec{l}'}{R}\right]$

$$\vec{B}=\frac{\mu_0 I}{4\pi}\int\frac{d\vec{l}'\times\vec{a}_R}{R^2}$$

$$\boxed{\vec{B}=\frac{\mu_0 I}{4\pi}\int\frac{d\vec{l}'\times\vec{R}}{R^3}}$$

Manyetik dipol

• $\vec{B}=\frac{\mu_0 I b^2}{4R^3}\left(\hat{a}_R\,2\cos\theta+\hat{a}_\theta\sin\theta\right)$

Mıknatıslanma ve Eşdeğer Akım Yoğunlukları

• n tane atomun mıknatıslanma vektörü

$$M = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\sum_{k=1}^{n\Delta V} m_k}{\Delta V}$$

$$d\vec{A} = \mu \frac{\vec{M} \times \vec{a}_n}{4\pi R^2} dv' \longrightarrow A = \int dv' \longrightarrow \vec{\nabla} \times \vec{A} = \vec{B}$$

$m_k \rightarrow$ manyetik dipol momenti

$\vec{a}_n \rightarrow$ yüzeye dik birimvektör

* Mıknatıslanma yüzey akım yoğunluğu

$$\boxed{\bar{J}_{ms} = \vec{M} \times \vec{a}_n \ (A/m)}$$

* Mıknatıslanma hacim akım yoğunluğu

$$\boxed{\bar{J}_{mv} = \vec{\nabla} \times \vec{M} \ (A/m^2)}$$

• Manyetik moment yoğunluğu M'nin μ_0 ile doğru orantılı bir iç akı yoğunluğu $\vec{B}_i$ üreteceği kabul edilirse

$$\vec{B}_i = \mu_0 \vec{M}$$

$$\bar{J}_{mv} = \nabla \times \vec{M}$$

$$\bar{J}_{mv} = \frac{1}{\mu_0} (\vec{\nabla} \times \vec{B}_i)$$

* İçeride uygulanan

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 J_{mv}$$

* Dışarıdan uygulanan

$$\vec{\nabla} \times \vec{B}_e = \mu_0 J$$

* Toplam

$$\vec{\nabla} \times \vec{B}_{Top} = \mu_0 (J + J_{mv})$$

Manyetik Alan Şiddeti ve Bağıl Geçirgenlik

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 (J + J_{mv}) \quad , \ J_{mv} = \vec{\nabla} \times \vec{M}$$

$$\frac{1}{\mu_0} (\vec{\nabla} \times \vec{B}) = J + \vec{\nabla} \times \vec{M}$$

$$\vec{\nabla} \times \left(\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}\right) = J$$

$$\boxed{\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}}$$

manyetik alan şiddeti

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = J$$

$$\int \vec{\nabla} \times \vec{H} \, ds = \int J \, d\vec{s}$$

$\downarrow$ stokes

$$\boxed{\oint_c \vec{H} \, d\vec{l} = I} \quad \text{(Amper Yasası)}$$

Ortamın özellikleri lineer ve yön bağımsız ise mıknatıslanma, manyetik alan şiddeti ile doğru orantılıdır.

$$\vec{M} = X_m \vec{H}$$

X_m : Ortamın bağıl manyetik geçirgenliği

$$\vec{H} \mu_0 (1 + X_m) = \vec{B}$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

$$\boxed{\mu = \mu_0 \mu_r}$$

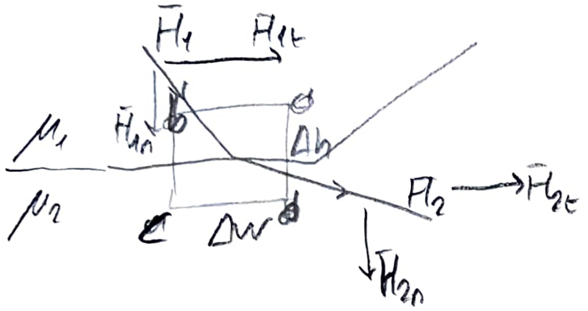
μ : Ortamın mutlak manyetik geçirgenliği

Manyetik Malzemenin Davranışı

μ_r değerine göre 3 e ayrılır.

Diamanyetik	Paramanyetik	Ferromanyetik
$\mu_r \leq 1$	$\mu_r \geq 1$	$\mu_r \gg 1$
$\chi_m = -10^{-5}$	$\chi_m = 10^{-5}$	
Cu, Ag, Au	Al, Ti, Mg	

Manyetostatik Alanlar ve Sınır Koşulları



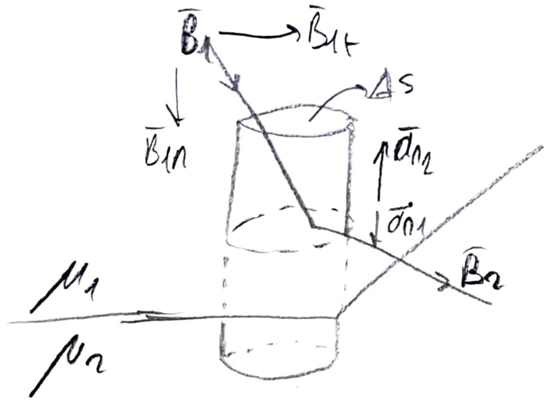
$$\nabla \times \bar{H} = J \longrightarrow \oint_c H\,dl = I$$

$$\nabla \cdot \bar{B} = 0 \longrightarrow \oint_s \vec{B}\,d\vec{s} = 0$$

$$\oint_{abcd} \bar{H}\,d\bar{l} = I \Longrightarrow \oint_{ab} \bar{H}_1 dl + \int_{cd} \bar{H}_2 d\bar{l} = I \qquad I = J_s \Delta w$$

$$H_{1t}\Delta w + H_{2t}(-\Delta w) = J_{ms}\Delta w$$

$$\boxed{H_{1t} - H_{2t} = J_{ms}}$$



$$\int \vec{B}_1 (\hat{a}_{n_2} \Delta s) + \int \vec{B}_2 (\hat{a}_{n_1} \Delta s) = 0$$

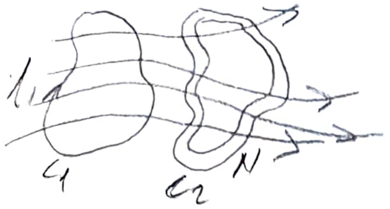
$$B_{1n}\Delta s + B_{2n}(-\Delta s) = 0$$

$$B_{1n} - B_{2n} = 0$$

$$\boxed{B_{1n} = B_{2n}}$$

$$\boxed{\mu_1 H_{1n} = \mu_2 H_{2n}} \qquad B = \mu H$$

Endüktans ve İndüktörler



$$\phi_{12} = \int_S \vec{B}_1 \, d\vec{s}_2$$

ortak akı

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{4\pi} \int \frac{d\vec{l} \times R}{R^3}$$

$$\phi_{12} = I_1 L_{12}$$

$$\Lambda_{12} = N\phi_{12} \cong I L_{12} \longrightarrow L_{12} = \frac{\Lambda_{12}}{I_1}$$

$$\Lambda_{11} = N_1 \phi_{11} > N_2 \phi_{12} = \Lambda_{12}$$

1- Koordinat sistemi
2- iletken telde I akımı varsayımı
3- B hesapla (Amper veya Biot-S)
4- B den her sarım ile bağlantılı ϕ bul
5- Akı bağlaşımı ϕ nın sarım sayısı ile çarpımı $(\Lambda = N\phi)$
6- $L = \Lambda / I$ ile öz indüktans

I_1
B_1
$\phi_{12} = \int_{S_2} B_1 d\vec{s}_2$
$\Lambda_{12} = \phi_{12} N_2$
$L_{12} = \dfrac{\Lambda_{12}}{I_1}$

$$\Rightarrow \oint H dl = I$$

$$\int_0^{2\pi} (\hat{a}_\phi H_\phi)(\hat{a}_\phi r d\phi) = IN$$

$$H_\phi r 2\pi = IN$$

$$H = \hat{a}_\phi \frac{NI}{2\pi r}$$

$$\vec{B} = \hat{a}_\phi \frac{\mu_0 N I}{2\pi r}$$

$$\phi_{12} = \int_0^h \int_0^b \left(\hat{a}_\phi \frac{\mu_0 N I}{2\pi r}\right)(\hat{a}_\phi dr dz)$$

$$\Lambda = N\phi$$

Manyetik Enerji

$$V_1 = L_1 \frac{di_1}{dt}$$
$$W_1 = \int V_1 i_1 dt$$
$$W_1 = \frac{1}{2} L_1 I_1^2$$

$$W_{12} = \int V_{12} I_1 dt$$
$$W_{12} = \mp L_{12} I_1 I_2$$
[Destekleyen (+)
Desteklemeyen (−)]

$$V_2 = L_2 \frac{di_2}{dt}$$
$$W_2 = \int V_2 i_2 dt$$
$$W_2 = \frac{1}{2} L_2 I_2^2$$

$$W = W_1 + W_{12} + W_2$$
$$W = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 \mp L_{12} I_1 I_2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2$$

- Alan nicelikleri cinsinden Manyetik Enerji

Elektrostatik	Manyetostatik
$\vec{D}$	$\vec{H}$
$\vec{E}$	$\vec{B}$
ε	$1/\mu$

Lineer ortam →
$\vec{B} = \mu \vec{H}$

$$W_e = \frac{1}{2} \int \vec{D}\vec{E}\, dv \xleftrightarrow[\text{man}]{\text{elek}} W_m = \frac{1}{2} \int \vec{H}\vec{B}\, dv$$

$$\boxed{W_m = \frac{1}{2} \int \frac{B^2}{\mu} dv'}$$

Manyetik Kuvvetler ve Torklar

- Akım Taşıyan İletkenler Üzerindeki

$$\boxed{\vec{F}_m = I \int d\vec{l} \times \vec{B}}$$

$$d\tau = \hat{a}_x \underbrace{r}_{b\sin\phi}\, \underbrace{dF}_{I\, dl \times \vec{B}}$$

$dl \to b\,d\phi$, $B \to B\sin\phi$

$$d\tau = \hat{a}_x\, b^2 \sin^2\phi\, B I\, d\phi$$

$$\vec{T} = \hat{a}_x b^2 B I\, 2 \int_0^{\pi} \sin^2\phi\, d\phi$$
$$\vec{T} = \hat{a}_x I \underbrace{\pi b^2}_{S} B$$
$$\vec{T} = \vec{m} \times \vec{B} \qquad m: I.S$$

$$\boxed{F_{12} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi} \int\int dl_2 \times \frac{(dl_1 \times R)}{R^3}}$$

- Depolanan Enerji Cinsinden

$$F_\phi = -\nabla W_m \longrightarrow (F_\phi)_x = -\frac{\partial W_m}{\partial x} \qquad T_\phi = \frac{-\partial W_m}{\partial \phi}$$

Manyetik Devreler

$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = NI = V_m$ → manyetik motor kuvveti

$B = \mu H$
$\phi = BS$

$$\boxed{\begin{aligned} V_m &= R_{es}\,\phi \\ \phi &= BS \\ V_m &= NI \end{aligned}}$$

$V_e = i(R_g + R_f)$

EMD	EDM
V_{m}	V_e
ϕ	i
R	R
μ	σ

$V_m = NI$
$R = \frac{l}{\mu S}$
$\mu = \mu_r \mu_0$

9

$\sigma_z \sigma_z = \sigma_z$

farklı = 0

$r \times j$

$z \leftarrow \emptyset$

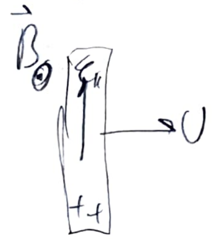
Faraday indüklenme Yasası

$$\oint_c E d\vec{l} = -\int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{s}$$

- Zamanla değişen manyetik alan, duran devre

$$V = -\frac{d\emptyset}{dt} \qquad V = \text{indüklenen EMF}$$

- Sabit Manyetik Alanlarda hareketli iletkenler



$$V = \int (\vec{U} \times \vec{B})\, dl$$

- Zamanla değişen alanlarda hareketli devre

$$V' = \underbrace{\oint_c E' dl = \underbrace{-\int \frac{\partial B}{\partial t} ds}_{1} + \underbrace{\int (\vec{U} \times \vec{B}) dl}_{2}}_{3}$$

$$\boxed{\emptyset = \int_s B\, ds}$$

Maxwell Denklemleri

- $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
- $\vec{\nabla} \times \vec{H} = J$
- $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$
- $\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_v$

$$\boxed{\vec{\nabla} \times \vec{H} = J + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}}$$

- Faraday $\longrightarrow \oint_c \vec{E} ds = -\int \frac{\partial B}{\partial t} ds$
- Amper $\longrightarrow \oint_c \vec{H} d\vec{l} = \int J d\vec{s} + \int \frac{\partial D}{\partial t} ds$
- Gauss $\longrightarrow \oint_s \vec{D} d\vec{s} = \int \rho_v dv$
- Manyetik tekle yükler yok $\longrightarrow \oint_s \vec{B} d\vec{s} = 0$

Lorentz $\longrightarrow \vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

②

Sınır Koşulları

E ve H teğet bileşeni

$$E_{1t} = E_{2t}$$

$$\hat{a}_n \times (H_{1t} - H_{2t}) = J_s$$

D ve B nın normal bileşeni

$$D_{1n} - D_{2n} = \rho_s$$

$$B_{1n} = B_{2n}$$

- Kayıpsız lineer ortam ε, μ ve $\sigma = 0$

İki kayıpsız ortam $\rho_s = 0,\ J_s = 0$

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} \qquad E_{1t} = E_{2t} \longrightarrow \frac{D_{1t}}{\varepsilon_1} = \frac{D_{2t}}{\varepsilon_2}$$

$$H_{1t} = H_{2t}$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

$$D_{1n} = D_{2n}$$

$$B_{1n} = B_{2n}$$

- Bir dielektrik bir mükemmel iletken

$B = 0 \quad H = 0$

$E_2 = 0 \quad B_2 = 0 \qquad D_{1n} = \rho_s$

$E_{1t} = E_{2t} = 0 \qquad B_{1n} = 0$

$\hat{a}_n \times H_{1t} = J_s$

Potansiyel Fonksiyonlar

$$\vec{E} = -\nabla V - \frac{\partial A}{\partial t}$$

A vektörü potansiyeli için homojen olmayan dalga denklemi

$$\nabla^2 \bar{A} - \mu \varepsilon \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} = -\mu J$$

Skaler potansiyel V için homojen olmayan " "

$$\nabla^2 V - \mu \varepsilon \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = -\frac{\rho_v}{\varepsilon}$$

Dalga Denkleminin Çözümü

$$V(R,t) = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \int \frac{\rho_v\left(t - \frac{R}{v_p}\right)}{R} dV' \quad (V)$$

$$\bar{A}(R,t) = \frac{\mu}{4\pi} \int \frac{J\left(t - \frac{R}{v_p}\right)}{R} dV' \quad (\text{Amper}/m^2)$$

3

Zamanda Harmonik Alanlar

$e^{jwt} = \cos(wt) + j\sin(wt)$

Zamanda Harmonik Elektromanyetik

$$E(x,y,z;t) = Re\{\bar{E}(x,y,z).e^{jwt}\}$$

$$\frac{\partial E(x,y,z;t)}{\partial t} = jw(\bar{E}(x,y,z))$$

$$\int E(x,y,z;t)\,dt = \frac{1}{jw}(\bar{E}(x,y,z))$$

Basit Ortamda Maxwell Denk' fazör

$\bar{\nabla} \times E = -jw\mu H$

$\bar{\nabla}\bar{E} = \frac{\rho_v}{\varepsilon}$

$\vec{\nabla} \times \bar{H} = J + jw\varepsilon\bar{E}$

$\nabla H = 0$

Fazörler Cinsinden V'nin Zamanda Harmonik Dalga Denk

$\nabla^2 V + k^2 V = -\frac{\rho_v}{\varepsilon}$ $\qquad w\sqrt{\mu\varepsilon} = k \rightarrow$ dalgasayısı

$\nabla^2 \bar{A} + k^2 \bar{A} = -\mu J$

Fazörler Cinsinden Gecikmiş Skaler ve Vektörel Potansiyel

$$V(R) = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\int_{V'} \frac{\rho_v e^{-jkR}}{R}\,dv' \quad (V)$$ skaler pot

$$\bar{A}(R) = \frac{\cancel{\mu}}{4\pi}\int_{V'} \frac{J e^{-jkR}}{R}\,dv' \quad (wb/m)$$ vektör pot

NOT: Zamanda harmonik yük ve akım dağılımında, E ve H = ?

1- $V(R)$, $A(R)$ = ?

2- $E(R) = -\nabla\bar{V} - jw\bar{A}$

$B(R) = \bar{\nabla}\times\bar{A}$

3- Cos ref anlık bul

$\vec{E}(R;t) = Re\{E(R)e^{jwt}\}$

$H(R;t) = --$

Elektromanyetik Spektrum

$$\nabla \times \bar{E} = -\mu \frac{\partial \bar{H}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \bar{E} = 0$$

$$\nabla \times \bar{H} = \varepsilon \frac{\partial \bar{E}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \bar{H} = 0$$

- $\nabla^2 E - \mu\varepsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0$
- $\nabla^2 E - \frac{1}{u_p^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0$
- $\nabla^2 H - \frac{1}{u_p^2} \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} = 0$

$u_p = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$ → dalga hızı

Zamanda Harmonik Alanların Fazör kullanarak

$$\nabla^2 \vec{E}_s + \frac{w^2}{u_p^2} \bar{E}_s = 0$$

$k = \frac{w}{u_p}$ → dalga sayısı

- $\nabla^2 \bar{E}_s + k^2 \bar{E}_s = 0$
- $\nabla^2 \bar{H}_s + k^2 \bar{H}_s = 0$

Kayıpsız Ortamlarda Düzlem Dalgalar

$\sigma = 0$ $\quad k = \frac{w}{u_p}$ $\quad \nabla^2 \bar{E}_s + k^2 \bar{E}_s = 0$

$$\vec{E}_x \frac{\partial^2}{\partial t^2} + k^2 \vec{E}_x = 0 \longrightarrow \text{dif çözüm}$$

$$\vec{E}_x(z) = \underbrace{E_0^+ e^{-jkz}}_{\text{+z yönünde ilerleyen dalga (giden)}} + \underbrace{E_0^- e^{jkz}}_{\text{-z yönünde ilerleyen dalga (yansıyan)}}$$

$$\boxed{\bar{E}_x(z;t) = a_x E_0^+ \cos(wt - kz)}$$

$$\boxed{H = a_y \frac{k}{w\mu} E_0^+ e^{-jkz}} , \quad \boxed{k = w\sqrt{\mu\varepsilon}} , \quad \eta = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$$

$$\boxed{H_z = a_y \frac{1}{\eta} E_0^+ e^{-jkz}}$$

E_x içinden $E_0^+ e^{-jkz}$ kısmını al. Birim yönlerini ele. $\frac{1}{\eta}$ ile çarp

$$\boxed{W_m = \frac{1}{2}\int HB\,dv = \frac{1}{2}\int \frac{B^2}{\mu}\,dv}$$

Enine Elektromanyetik Dalgalar

$$\mathbb{H} = \frac{1}{\eta} \vec{a}_k \times \vec{E}$$

$$E = -\eta \vec{a}_k \times H$$

Kayıplı Ortamlarda Düzlem Dalga

$J = \sigma E$ akım akar (iletken $\sigma = 0$)

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = jw\underbrace{\left(\varepsilon + \frac{\sigma}{jw}\right)}_{\varepsilon_c} \vec{E}$$

$\varepsilon_c \longrightarrow$ kompleks dielektrik geçirgenlik

- k yerine k_c kullan

$$k_c = w\sqrt{\mu \varepsilon_c} \Longrightarrow \nabla^2 E + k_c^2 E = 0$$

- γ (gama) yayılma sabiti $= jk_c$

$$\gamma = jw\sqrt{\mu \varepsilon_c} = jw\sqrt{\mu(\varepsilon' - j\varepsilon'')} = \alpha + j\beta$$

$\rightarrow \nabla^2 \vec{E} - \gamma^2 \vec{E} = 0$ (kartezyen koordinat)

~~Endüktans ve İndüktörler~~

$$\phi_{12} = \int_S \vec{B}_1 \, d\vec{s}_2$$

$$\boxed{\begin{aligned} &\oint B_1 dl = \mu_0 I_1 \qquad B_1 = B_{12} \\ &\phi_{12} = \int \vec{B}_{12} \, d\vec{s}_2 \\ &\Lambda_{12} = N_2 \phi_{12} \\ &L_{12} = \frac{\Lambda_{12}}{I_1} \end{aligned}}$$

4 soru
6 adım

Zayıflama Sabiti	α	
Faz sabiti	β	
Öz empedans	η_c	$\longrightarrow$ fazörel
faz hızı	u_p	
dalga boyu	λ	
deri kalınlığı	δ	

Fazör
Son