



สำนักหอสมุด  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
การสอบปลายภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2553

วิชา ENE 325 Electromagnetic fields and waves

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ปีที่ 3 ปกติ

สอบ วันจันทร์ที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2553

เวลา 13.00-16.00 น.

คำเตือน

1. ข้อสอบวิชานี้มี 5 ข้อ 11 หน้า (รวมใบปะหน้า)
2. ให้ทำทุกข้อลงในข้อสอบ
3. ไม่อนุญาตให้นำเอกสารประกอบการเรียนเข้าห้องสอบ
4. อนุญาตให้ใช้เครื่องคำนวณได้
5. ให้เขียนชื่อ-นามสกุล และเลขประจำตัวลงในข้อสอบทุกหน้า

เมื่อนักศึกษาทำข้อสอบเสร็จ ต้องยกมือบอกกรรมการคุมสอบ

เพื่อขออนุญาตออกนอกห้องสอบ

ห้ามนักศึกษานำข้อสอบและกระดาษคำตอบออกนอกห้องสอบ

นักศึกษาซึ่งทุจริตในการสอบ อาจถูกพิจารณาโทษสูงสุดให้พ้นสภาพการเป็นนักศึกษา

ชื่อ-สกุล.....รหัสประจำตัว.....

อาจารย์ราชดิ ศิลพันธ์

ผู้ออกข้อสอบ

โทร. 02-470- 9062

ข้อสอบนี้ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการประจำภาควิชาแล้ว

ผศ.ดร.วุฒิชัย อัสวินชัยโชติ

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

### สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

#### Magnetostatics

1. Ampere's law:  $\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I$
2. Magnetic flux density,  $B$  และ Magnetic field intensity,  $H$ :  $\vec{B} = \mu \vec{H}$  Tesla
3. Magnetic permeability  $\mu = \mu_r \mu_0$
4. Maxwell's equations for magnetostatics:  $\nabla \cdot \vec{B} = 0$   
 $\nabla \times \vec{H} = \vec{J}$

โดยที่ ความหนาแน่นกระแส  $\vec{J} = \frac{\vec{I}}{\text{area}} = \sigma \vec{E}$  A/m<sup>2</sup>

5. Curl in the cylindrical coordinate

$$\nabla \times \vec{A} = \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial A_z}{\partial \phi} - \frac{\partial A_\phi}{\partial z} \right) \hat{a}_\rho + \left( \frac{\partial A_\rho}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial \rho} \right) \hat{a}_\phi + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial(\rho A_\phi)}{\partial \rho} - \frac{\partial A_\rho}{\partial \phi} \right) \hat{a}_z$$

#### Dynamic fields

1. Transformer emf:  $emf = - \int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$  V
2. Motional emf:  $emf = \oint (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$  V

#### Uniform Plane Wave

1. ตัวอย่างรูปแบบของคลื่นเดินทางในทิศ  $\hat{a}_z$  และสนามไฟฟ้าอยู่ในทิศ  $\hat{a}_x$ :

Instantaneous form of forwarded electric field  $\vec{E}(z, t) = E_0 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z) \hat{a}_x$  V/m

Phasor form of forwarded electric field  $\vec{E}(z) = E_0 e^{-\alpha z} e^{-j\beta z} \hat{a}_x$  V/m

2. loss tangent  $\tan \delta = \frac{\sigma}{\omega \epsilon}$

3.

parameters	Lossless media	Low-loss dielectrics	Good conductors
		$\tan \delta < 0.1$	$\tan \delta > 10$
Attenuation constant $\alpha$ (Np/m)	0	$\cong \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$	$\sqrt{\pi f \mu \sigma}$
Propagation constant $\beta$ (rad/m)	$\omega \sqrt{\mu \epsilon}$	$\cong \omega \sqrt{\mu \epsilon}$	$\sqrt{\pi f \mu \sigma}$
Intrinsic impedance $\eta$ ( $\Omega$ )	$\sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$	$\cong \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$	$\sqrt{\frac{\omega \mu}{\sigma}} e^{j45^\circ}$
Phase velocity $v_p$ (m/s)	$\omega / \beta$		
Wavelength $\lambda$ (m)	$2\pi / \beta$		
Skin depth $\delta$ (m)	-	$\frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}$	

4. ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\vec{E}$  (V/m) และ  $\vec{H}$  (A/m),  $\vec{H} = \frac{1}{\eta} \hat{a}_\rho \times \vec{E}$ ;  $\hat{a}_\rho$  = ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

5. กำลังคลื่นเฉลี่ย  $\bar{P}_{avg} = \frac{1}{2} \text{Re}(\vec{E}^s \times \vec{H}^{s*})$  W/m<sup>2</sup> (คำนวณโดยใช้รูปแบบเฟสเซอร์ของ  $\vec{E}$  และ  $\vec{H}$ )

ค่าคงที่

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

1. Ampere's law: ลวดรัศมี 3 mm แบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นใน ( $0 < \rho < 2 \text{ mm}$ ) มีค่าความนำ  $\sigma = 10^7 \text{ S/m}$  และ ชั้นนอก ( $2 \text{ mm} < \rho < 3 \text{ mm}$ ) มีค่าความนำ  $\sigma = 4 \times 10^7 \text{ S/m}$  กำหนดให้มีกระแสตรงไหลในเส้นลวด 100 mA จงคำนวณ (25 คะแนน)

a) สนามแม่เหล็ก  $\vec{H}$  (ตอบในเทอมของ  $\rho$ ) บริเวณ  $0 < \rho < 2 \text{ mm}$  (10 คะแนน)

แนะนำ: 1.คำนวณค่าความหนาแน่นกระแส  $J = \sigma E \text{ A/m}^2$  ในแต่ละชั้น

2.สนามไฟฟ้าตกคร่อมเส้นลวดมีค่าเท่ากันทั้งในลวดชั้นในและชั้นนอก

3. กระแสรวม  $I_{\text{Total}} = I_{\text{ชั้นใน}} + I_{\text{ชั้นนอก}}$

b) สนามแม่เหล็ก  $\vec{H}$  (ตอบในเทอมของ  $\rho$ ) บริเวณ  $2 < \rho < 3 \text{ mm}$  (10 คะแนน)

ชื่อ \_\_\_\_\_ รหัสประจำตัว \_\_\_\_\_ เลขที่นั่งสอบ \_\_\_\_\_

c) สนามแม่เหล็ก  $\vec{H}$  (ตอบในเทอมของ  $\rho$ ) บริเวณ  $\rho > 3 \text{ mm}$  (5 คะแนน)

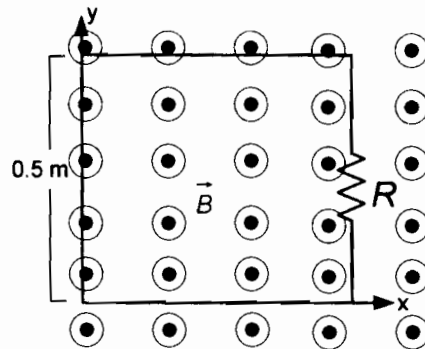
ชื่อ \_\_\_\_\_ รหัสประจำตัว \_\_\_\_\_ เลขที่นั่งสอบ \_\_\_\_\_  
สถ.มห.วท.ม.

2. Maxwell's equations: ตัวนำที่ไม่มีความเป็นแม่เหล็ก มีรูปร่างเป็นเส้นยาวรัศมี 0.2 mm เรียงตัว  
ตามทิศ  $z$  กำหนดให้มีกระแสตรงไหลในตัวนำ 2 A จงคำนวณ (15 คะแนน)

a) ความหนาแน่นกระแส  $\vec{J}$  (5 คะแนน)

b) ใช้ Ampere's law คำนวณความเข้มสนามแม่เหล็ก  $\vec{H}$  ที่ระยะรัศมี  $\rho$  ใดๆ ในเทอมของความ  
หนาแน่นกระแส  $J$  และจงพิสูจน์ว่าค่า  $\vec{H}$  ที่ได้สอดคล้องกับ Maxwell's equation สำหรับ Static  
field:  $\nabla \times \vec{H} = \vec{J}$  (10 คะแนน)

3. emf: จากรูปวงจรวัดนำสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความต้านทาน  $R = 500 \, \Omega$  ตั้งอยู่ในสนามแม่เหล็ก  $\vec{B}$  จงคำนวณกระแสเหนี่ยวนำ  $i(t)$  ที่ไหลในวงจรถ้า (20 คะแนน)



a) จงคำนวณกระแสเหนี่ยวนำ  $i(t)$  ที่ไหลในวงจรถ้า  $\vec{B} = 0.1 \cos(120\pi t - 30^\circ) \hat{a}_z \, \text{T}$  (10 คะแนน)

b) ค่าแรงดันและทิศทาง emf ที่เวลา  $t$  เท่ากับ  $1/120$  วินาที (10 คะแนน)

แนะนำ: วาดกราฟ  $\vec{B}(t)$  และดูทิศทางของสนามแม่เหล็กนี้ที่เวลา  $t$

4. Uniform Plane Wave: กำหนดให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางผ่านตัวกลางแบบสูญเสียต่ำ (low loss) ชนิดหนึ่งซึ่งทราบค่า  $\mu_r = 5$  แต่ไม่ทราบค่า  $\epsilon_r$  โดยพบว่ามีค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก

$$\vec{H}(z,t) = 10e^{-10z} \cos(2\pi 10^9 t - 209z) \hat{a}_y \text{ A/m จงคำนวณ (20 คะแนน)}$$

a) ค่า dielectric constant  $\epsilon_r$  (5 คะแนน)

b) ค่าความนำไฟฟ้า  $\sigma$  ในหน่วย S/m (5 คะแนน)

c) คำนวณค่าความต้านทานของคลื่นในตัวกลางนี้  $\eta$  ในหน่วยโอห์ม (5 คะแนน)



ชื่อ \_\_\_\_\_ รหัสประจำตัว \_\_\_\_\_ เลขที่นั่งสอบ \_\_\_\_\_  
สำนักหอสมุด

d) ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า  $\vec{E}(z,t)$  (5 คะแนน)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

๓. นกขมิ้น

$\sigma = 40 \text{ S/m}$   $\mu_r = 1$  และมีค่าสนามไฟฟ้าในรูปแบบเฟลเซอร์

a) จงคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กในรูปแบบเฟสเซอร์  $\vec{H}^s$  (10 คะแนน)

10

ชื่อ \_\_\_\_\_ รหัสประจำตัว \_\_\_\_\_ เลขที่ \_\_\_\_\_

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

c) ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย  $\vec{P}_{av}$  (5 คะแนน)