

令和6年度専攻科入学者選抜前期学力検査問題

電気情報システム工学専攻

電気電子系 専門 I

(電磁気学)

(1/4)

受験番号	氏 名

得 点

総 得 点

【問1】 図1は無有限長円筒ソレノイドであり、円筒の内側には透磁率 μ の磁性体が満たされている。円筒の表面に長さ l [m]あたり巻数 N_1 のコイルが巻かれており、その外側に N_2 のコイルが巻かれている。断面積は S [m²]とし、コイル N_1 に電流 I_1 を流したときの両コイルの相互インダクタンスを次の手順で求めよ。答えは図1で与えられた変数と透磁率 μ を使って表すこと。また、単位をつけること。[4点×5=20点]

- (1) ソレノイド内の磁界の強さ H を求めよ。
- (2) ソレノイド内部の磁束密度 B を求めよ。
- (3) ソレノイド内部の磁束 ϕ を求めよ。
- (4) 磁束 ϕ がコイル N_2 と鎖交する磁束鎖交数 Φ を求めよ。
- (5) 両コイルの相互インダクタンス M を求めよ。

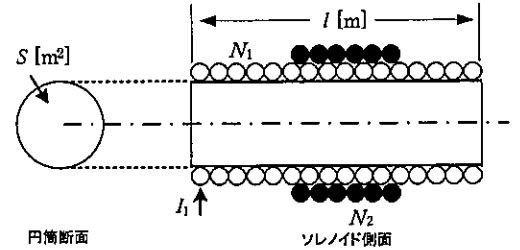


図1

【解答】(1) $H = \frac{N_1 I_1}{l}$

(2) $B = \mu H = \frac{\mu N_1 I_1}{l}$

(3) $\phi = BS = \frac{\mu N_1 I_1 S}{l}$

(4) $\Phi = N_2 \phi = \frac{\mu N_1 N_2 I_1 S}{l}$

解答欄 (5) $M = \frac{\Phi}{I_1} = \frac{\mu N_1 N_2 S}{l}$

(1) $H = \frac{N_1 I_1}{l}$ [A/m]	(2) $B = \frac{\mu N_1 I_1}{l}$ [T]	(3) $\phi = \frac{\mu N_1 I_1 S}{l}$ [Wb]	(4) $\Phi = \frac{\mu N_1 N_2 I_1 S}{l}$ [Wb]	(5) $M = \frac{\mu N_1 N_2 S}{l}$ [H]
--------------------------------------	--	--	--	--

【問2】 コンデンサ内部が真空の平行平板コンデンサがある。これに図2のように、比誘電率 ϵ_s のガラス板を電極板の面積の半分まで差し込むと、コンデンサの静電容量は元の静電容量の何倍になるか。ただし、平行平板の間隔を d [m]、電極板の面積を S [m²]、真空中での誘電率を ϵ_0 とする。[10点]

【解答】

ガラス板を入れる前のキャパシタンス

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

ガラス板を入れたあとの、空気側と、ガラス側のキャパシタンスはそれぞれ、

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 S}{2d}, C_2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_s S}{2d}$$

ガラス板を入れたあとの合成キャパシタンスは

$$C'_0 = C_1 + C_2 = \frac{\epsilon_0 S}{d} \left(\frac{1 + \epsilon_s}{2} \right)$$

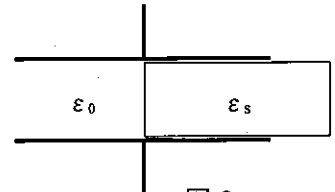


図2

解答欄

$\frac{1 + \epsilon_s}{2}$ 倍

受験番号	氏 名

得 点

【問 3】 図 3 のように真空中に $+Q_1$, $+Q_2$ の 2 つの点電荷を直線上に距離 r [m] を隔てて配置したとき, 単位正電荷に働く力が 0 になる点 P の位置を求めよ。ただし, $+Q_1$ の位置から離れた距離を $x < r$ とする。[10 点]

【解答】

(1) Q_1 , Q_2 が P 点に作る電界をそれぞれ E_1 , E_2 とすると

$$E_1 = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 x^2}, E_2 = \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 (r-x)^2}$$

$E_1 = E_2$ とすればよいので

$$\frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 x^2} = \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 (r-x)^2}$$

$$\frac{Q_1}{x^2} = \frac{Q_2}{(r-x)^2} \Rightarrow \frac{(r-x)^2}{x^2} = \frac{Q_2}{Q_1} \Rightarrow \frac{r}{x} - 1 = \pm \sqrt{\frac{Q_2}{Q_1}}$$

$$x = \frac{r}{1 \pm \sqrt{\frac{Q_2}{Q_1}}} \quad \text{題意より } x < r \text{ より符号はプラスをとる。}$$

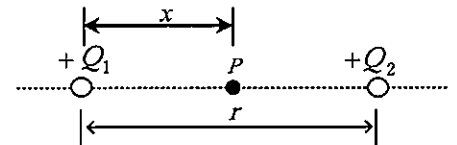


図 3

解答欄

$$x = \frac{r}{1 + \sqrt{\frac{Q_2}{Q_1}}}$$

【問 4】 $C = 2 \mu\text{F}$ のコンデンサに図 4 のように電圧 v [V] を与えた。以下の各期間にコンデンサに流れる電流を求めよ。なお, 単位も付けよ。(1) $0 \sim 0.2$ 秒, (2) $0.2 \sim 0.4$ 秒, (3) $0.4 \sim 0.6$ 秒, (4) $0.6 \sim 0.8$ 秒, (5) $0.8 \sim 1.0$ 秒 [2 点 $\times$ 5 = 10 点]

【解答】

$$(1) i = C \frac{dv}{dt} = 2 \times 10^{-6} \times \frac{100}{0.2} = 1 \text{ mA}$$

(2) 電荷量の変化がないので 0 A

$$(3) i = C \frac{dv}{dt} = 2 \times 10^{-6} \times \left(\frac{-200}{0.2} \right) = -2 \text{ mA}$$

(4) 電荷量の変化がないので 0 A

$$(5) i = C \frac{dv}{dt} = 2 \times 10^{-6} \times \frac{100}{0.2} = 1 \text{ mA}$$

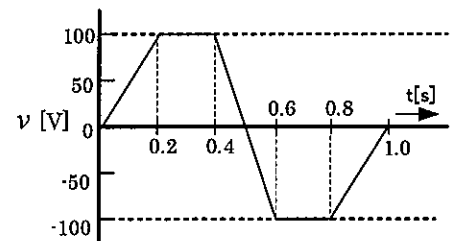


図 4

解答欄

(1) 1 mA	(2) 0 A	(3) -2 mA	(4) 0 A	(5) 1 mA
-------------	------------	--------------	------------	-------------

受験番号	氏 名

得 点

【問 5】長い円柱形の磁石を図 5 のように紐でつるし静止させ、次の実験を行った。
以下の問いに答えよ。[15 点]

- (1) 図 5 に示すように、円環状の導体を磁石の N 極側の下から近づけると、この円環には (①) が生じ、(②) 向きに電流が流れる。(②は a または b を選択)
- (2) 円環を N 極の真下に置き、円環の直径を軸として、そのまわりを一定の角速度で回転させた。その時、円環に流れる電流の変化の周期は円環の回転周期の何倍か。
- (3) 円環を磁石 N 極端面と平行に固定し、磁石の下端を静止点 O から横にずらし静かに放した時、 N 極は点 O の両側に周期 T で振動した。この時、円環を流れる電流の変動周期は、 N 極の振動周期の何倍か。また、その理由を定性的に簡潔に述べよ。

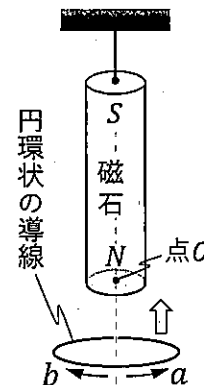


図 5

<解答欄>

(1) [3 点×2=6 点]		(2) [3 点]	(3) [3 点×2=6 点]
①	②		
電磁誘導	a	1 倍	0.5 倍 <理由> N 極が 1 回往復する間に電流の変化が 2 回発生するため周期は半分になる。

【問 6】図 6 のように鉄心とコイルで構成される磁気回路について考える。鉄心の断面積は全て S [m^2]、比透磁率は μ_r である。また、鉄心の上部と下部にはそれぞれ N_1 回と N_2 回のコイルが巻かれている。真空中の透磁率は μ_0 とする。次の問いに答えよ。なお、導出した式には単位を書くこと。[35 点]

- (1) 図 6 (a) の磁気回路において、左右両側の磁路の磁気抵抗を R_1 、中央の磁気抵抗を R_2 として等価回路図を書き、 R_1 と R_2 の式を求めよ。なお、この回路図で新たに用いた記号を簡単に説明せよ。
- (2) 図 6 (a) の磁気回路において、中央部の磁路における磁束を求めよ。
- (3) 図 6 (a) の磁気回路において、中央部の磁路における磁束密度 B を求めよ。
- (4) 図 6 (b) に示すように中央部の鉄心に幅 δ [mm] の空隙を設けた。空隙部を含む中央部の磁路の磁気抵抗 R_3 の式を求めよ。
- (5) 鉄心に空隙がある場合の磁束密度 B' は、空隙がない場合 B の何倍になるのか求めよ。また、空隙 δ を大きくすると鉄心のもつ磁化曲線 (B - H 曲線) はどのように変化していくのか簡単に述べよ。

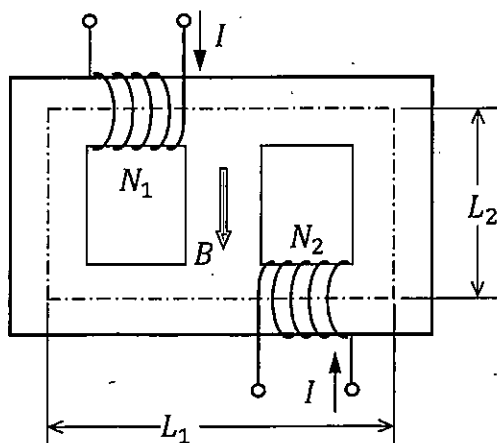


図 6(a)

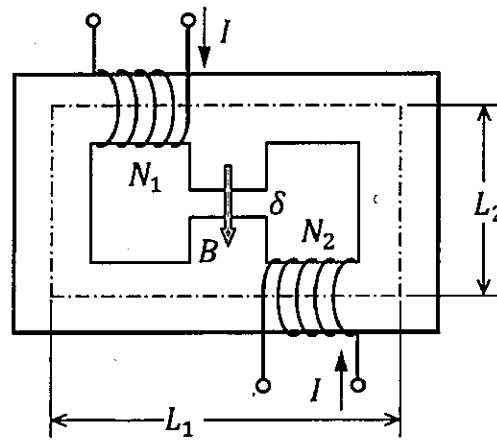
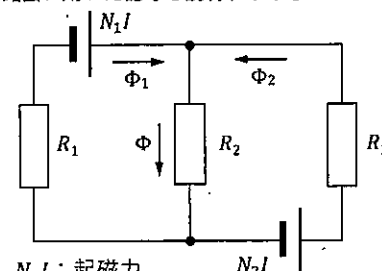
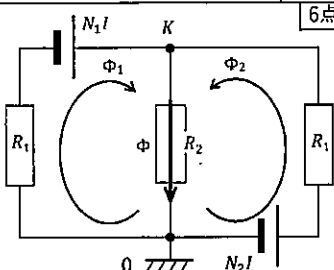


図 6(b)

受験番号	氏 名

得 点

<解答欄>

問6 (1) <回路図に用いた記号を説明すること> 5点  N_1I, N_2I: 起磁力 Φ, Φ_1, Φ_2: 磁束 R_1: 左右鉄心磁路の磁気抵抗 (断面積 S) R_2: 中央鉄心磁路の磁気抵抗 (断面積 S)	<R_1の式> 3点 ・磁気抵抗R_1は磁路長に比例し、磁路の断面積Sと透磁率に反比例することから次式で与えられる。 $R_1 = \frac{L_1 + L_2}{\mu_0 \mu_r S} \quad [A/Wb]$ <R_2の式> 3点 ・磁気抵抗R_2もR_1とは同様に次式で与えられる。 $R_2 = \frac{L_2}{\mu_0 \mu_r S} \quad [A/Wb]$
問6 (2) <考え方を示すこと> 6点  右図のように、左右鉄心と中央鉄心が交差する点の磁位をKとして磁束Φ_1, Φ_2を求めると、 $\Phi_1 = \frac{N_1 I - K}{R_1} \quad \Phi_2 = \frac{N_2 I - K}{R_1}$ $\Phi = \frac{K}{R_2} \quad \dots (A)$ 磁束Φ_1とΦ_2は、K点から全て接地側に流れていくと定義していることから、中央鉄心の磁束Φは磁気に関するキルヒホッフの電流則より、 $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$ $\therefore \frac{K}{R_2} = \frac{N_1 I - K}{R_1} + \frac{N_2 I - K}{R_1} \Rightarrow K = \frac{R_2}{R_1 + 2R_2} (N_1 + N_2) I \quad \dots (B)$ 式(B)を式(A)に代入すると、磁束Φが求められる。 $\Phi = \frac{1}{R_2} \cdot \frac{R_2}{R_1 + 2R_2} (N_1 + N_2) I = \frac{(N_1 + N_2) \cdot I}{R_1 + 2R_2} \quad [Wb]$	問6 (3) <考え方を示すこと> 4点 磁束Φと磁束密度Bとの関係が$\Phi = B \cdot S$であることから、 $B = \frac{\Phi}{S} = \frac{(N_1 + N_2) \cdot I}{R_1 + 2R_2} \cdot \frac{1}{S} \quad \dots (C)$ 式(C)に磁気抵抗R_1とR_2を代入すると、 $B = \frac{\Phi}{S} = \frac{(N_1 + N_2) \cdot I}{\frac{L_1 + L_2}{\mu_0 \mu_r S} + 2 \frac{L_2}{\mu_0 \mu_r S}} \cdot \frac{1}{S}$ $= \frac{\mu_0 \mu_r (N_1 + N_2) I}{L_1 + 3L_2} \quad \dots (d)$ <答え> $\frac{\mu_0 \mu_r (N_1 + N_2) I}{L_1 + 3L_2} \quad [T] \text{ or } [Wb/m^2]$
問6 (4) <考え方を示すこと> 4点 磁気抵抗R_3は、透磁率が$\mu_0 \mu_r$である磁路長$(L_2 - \delta)$と透磁率がμ_0である空隙幅δに分けて考える。 また、各磁路の断面積がSであることから次式で与えられる。 $R_3 = \frac{L_2 - \delta}{\mu_0 \mu_r S} + \frac{\delta}{\mu_0 S} \quad [A/Wb]$	
問6 (5) <考え方を示すこと> 磁気抵抗R_3を前設問の式(C)のR_2と入れ替えて計算すると空隙部の磁束密度Bが算出される。 $\therefore B' = \frac{\Phi}{S} = \frac{(N_1 + N_2) \cdot I}{R_1 + 2R_3} \cdot \frac{1}{S} = \frac{(N_1 + N_2) \cdot I}{\frac{L_1 + L_2}{\mu_0 \mu_r S} + 2 \left(\frac{L_2 - \delta}{\mu_0 \mu_r S} + \frac{\delta}{\mu_0 S} \right)} \cdot \frac{1}{S} = \frac{\mu_0 \mu_r (N_1 + N_2) \cdot I}{L_1 + 3L_2 + 2(\mu_r - 1)\delta} \quad [T] \text{ or } [Wb/m^2] \quad \dots (e)$ 従って、空隙のある場合の磁束密度B'はない場合のBに対して、式(e)/式(d)より、 $\frac{\mu_0 \mu_r (N_1 + N_2) \cdot I}{L_1 + 3L_2 + 2(\mu_r - 1)\delta} = \frac{L_1 + 3L_2}{\mu_0 \mu_r (N_1 + N_2) \cdot I} \cdot \frac{\mu_0 \mu_r (N_1 + N_2) \cdot I}{L_1 + 3L_2} \quad (\text{倍})$	<答え> 4点 <答え> 6点 磁路を通過する磁束へのインピーダンスが増加することでB-H曲線の傾きが緩やかになり、磁気飽和に達するまでの起磁力が高くなる。