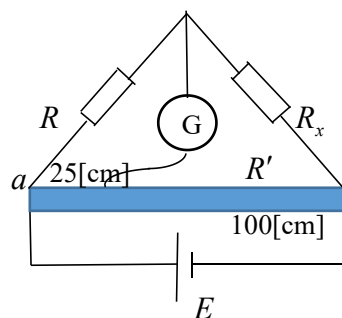


(問題 1)

図のようなメートルブリッジで
 a から $25[\text{cm}]$ に接続すると検流計 G に
 電流が流れなくなった。 R_x を求めよ。



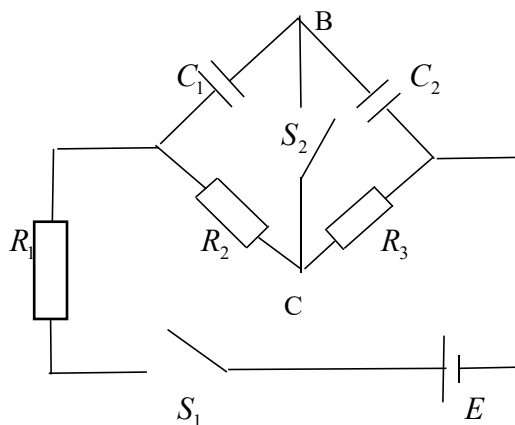
(問題 2)

(1) S_2 を開いたまま, S_1 を閉じたとき

の R_1 に流れる電流を求めよ。

(2) (1)の状態から十分時間が経過した
 ときの C_1, C_2 に蓄えられる電荷を求
 めよ。

(3)(2)の状態から S_2 を閉じて十分時間
 が経過するまで BC 間を流れる電荷量
 を求めよ。



(問題 3)

図のように, 小さな厚紙の上に小さな方位磁針を 4 つ置く。各方位磁針は, 厚紙の中心の
 点 O から 6.0cm の位置にあり, どれも北を指している。点 O に導線を鉛直方向に通し, 電
 流を上から下向きに流した。地球の磁場の向きは北向きとする。

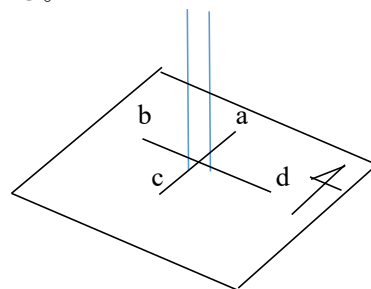
(1) 流す電流が $\sqrt{3}\pi \text{ A}$ のとき方位磁針 b, d

は向きを変えなかったが, a, c は南北の軸

から 30° 振れた。地球の磁場の成分 $H_0 [\text{A/m}]$

を求めよ。

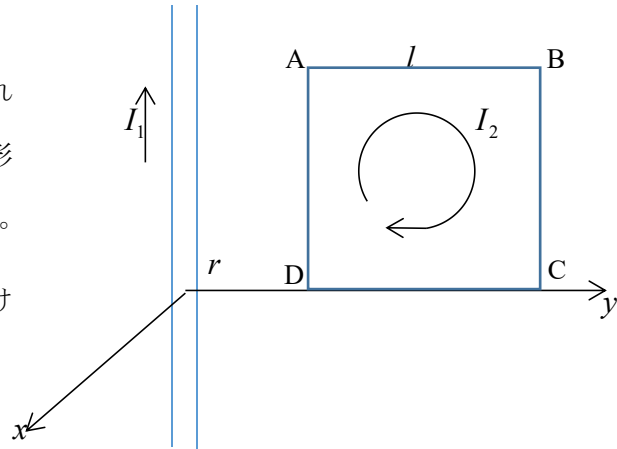
(2) $3\sqrt{3} \text{ A}$ の電流を流すと各方位磁針はどちらを向くか。



(問題 4)

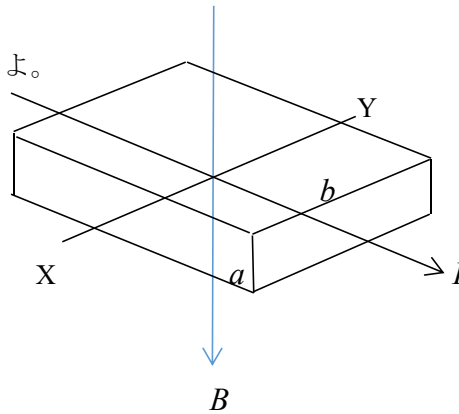
図のように、鉛直上向きに電流 I_1 が流れている。 r 離れた距離に長さ l の正方形のコイル ABCD に電流 I_2 が流れている。

コイル ABCD が I_1 が作る磁場から受ける力を求めよ。



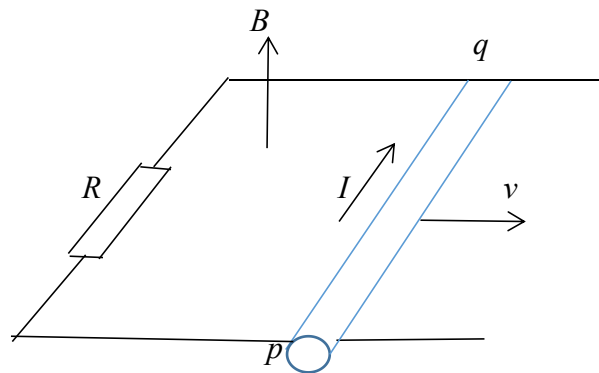
(問題 5)

図のように、電流 I と磁場 B が直交している中で電子が速度 v 直進している。XY 間に電圧 V が生じている。 v と単位体積当たりのキャリアの数 n を求めよ。



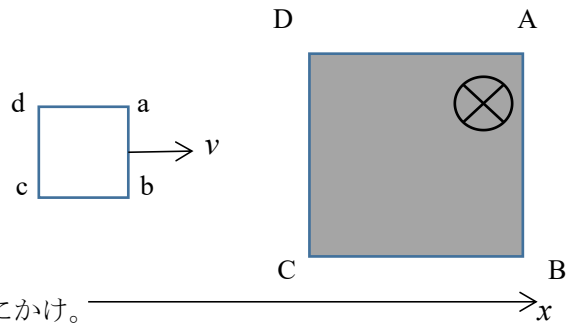
(問題 6)

図のように、上向き磁束密度 B の磁場を速度 v で導体棒が移動している。誘導起電力と抵抗 R に流れる電流、生じるジュール熱、導体棒に生じる力を求めよ。



(問題 7)

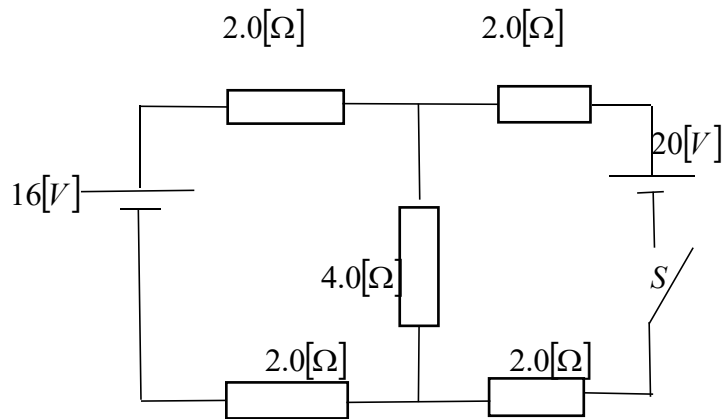
図のように 1 辺の長さ $2l$ の正方形 ABCD の部分に、表から裏に向かう磁束密度 B の磁場がある。1 辺の長さが l の 1 巻きのコイルを x 軸正の方向に一定の速さ v で動かす。辺 ab が辺 CD と重なった時刻を $t=0$ とする。



- (1) コイルを貫く磁束 Φ の時間変化をグラフにかけ。
- (2) コイルを流れる電流 I の時間変化をグラフにかけ。ただし、時計回りを正とする。
- (3) コイルが磁場から受ける力 F の時間変化をグラフにかけ。
- (4) コイルが磁束部分を通り終るまでコイルに生じるジュール熱を求めよ。
- (5) コイルが磁束部分を通り終るまで、コイルを動かすために外力がした仕事を求めよ。

(問題 8)

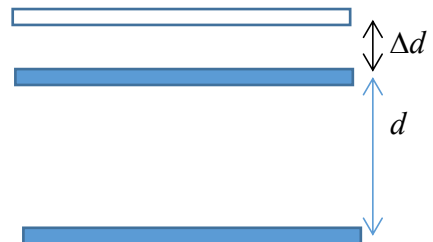
- (1) スイッチ S を開いたとき、 $4.0[\Omega]$ の抵抗に流れる電流を求めよ。
- (2) スイッチ S を閉じたとき $4.0[\Omega]$ の抵抗に流れる電流を求めよ。



(問題 9)

極板面積 $S[m^2]$ 、極板間隔 $d[m]$ のコンデンサーに $Q[C]$

の電荷を与える。真空の誘電率を $\epsilon_0[F/m]$ とする。



- (1) コンデンサーが蓄えている静電エネルギー $U[J]$ を求めよ。
- (2) 極板上の電荷画の逃げないようにして、極板間隔を $\Delta d[m]$ だけゆっくりと広げるとき静電エネルギーの増加量を求めよ。
- (3) 2 枚の極板は正負に帯電しているので、引力を及ぼしあっている。この引力に逆らって極板を引き離すために、外から加えた力のした仕事は (2) の静電エネルギーの増加になったと考えられる。外力の大きさがこの引力の大きさに等しいとして、この引力の大きさ $F[N]$ を

求めよ。

(問題 10)

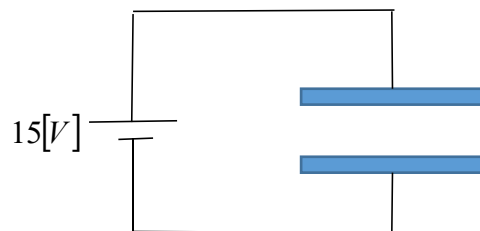
平行板コンデンサー（電気容量 $30[pF]$ ）を電圧 $15[V]$ の電池で充電した。

(1) 電池を外した状態で、極板間の間隔を半分にした。このときの極板間の電圧

$V'[V]$ を求めよ。

(2) 電池を接続した状態で、極板間の間隔を半分にした。このときのコンデンサー

の電気量 $Q'[C]$ を求めよ。



(問題 11)

電流計（内部抵抗 r_A ）と電圧計（内部抵抗 r_V ）を抵抗 R に接続し、その抵抗値 R を $\frac{V}{I}$ から

求めるため、図 a, b の 2 通りの接続を考えた。（ I, V は電流計、電圧計が示す値を表す。）

図 a, b の $\frac{V}{I}$ の値を R_a, R_b で表す。

図 a

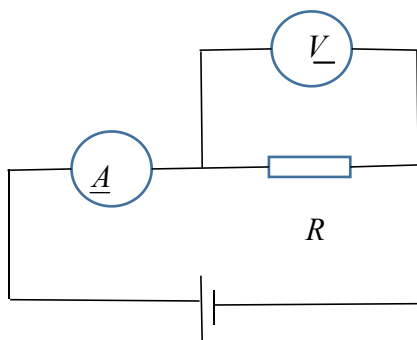
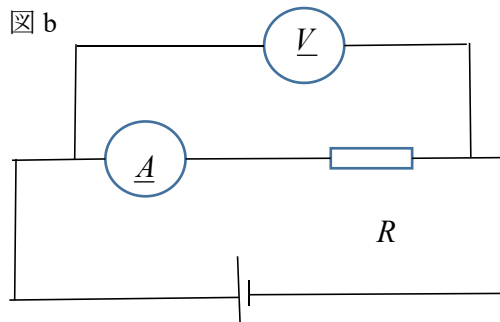


図 b



(問題 12)

図のように、水平で一様な磁速密度 $B[T]$ の磁場内で、コの字形に曲げた金属柱を磁場に垂

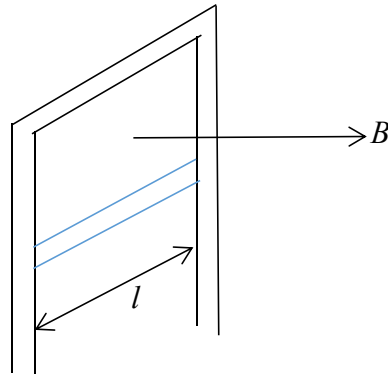
直な面内で鉛直に立てる。この金属柱に長さ $l[m]$ 、質量 $m[kg]$ の導体棒を常に水平に保ち

両端が金属柱に接して滑らかに動けるようにはめた。導体棒の抵抗値は $R[\Omega]$ であり、コの字形の金属中の抵抗は無視できる。この導体棒を落下させたところ、やがて導体棒の速さは一定となった。自己誘導は無視できるとする。

(1) 導体棒の速さが一定のとき、導体棒にはたらく力は何つあり、導体棒に流れる電

流の大きさ $I[A]$ を求めよ。

(2) 導体棒に生じる誘導起電力の大きさを考えることにより，導体棒の速さ $v[m/s]$ を求めよ。

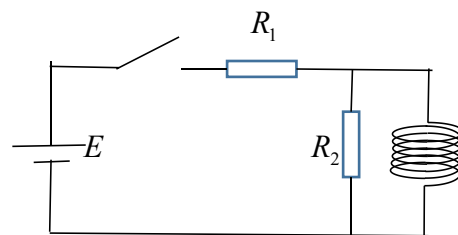


(問題 1 3)

図のように，抵抗値 $R_1[\Omega]$, $R_2[\Omega]$ の抵抗，コイル，起電力 $E[V]$ の電池，スイッチが接続された回路がある。次の(1),(2)について R_1 の抵抗を流れる電流 $I[A]$ とコイルに生じる誘導起電力の大きさ $V[V]$ を求めよ。

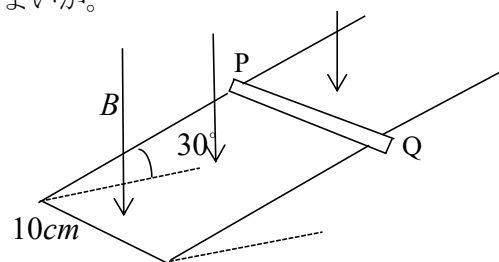
(1) スイッチを閉じた直後

(2) スイッチを閉じてから十分時間が経過したとき



(問題 1 4)

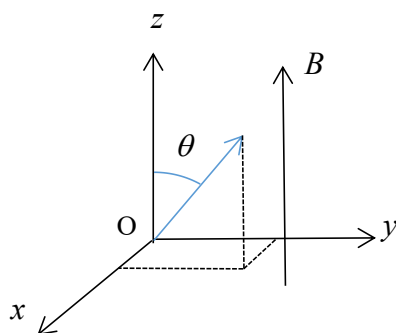
磁束密度が $2.0 \times 10^{-2} [T]$ の鉛直下向きの一様な磁場中に，水平と 30° の角をなすなめらかな銅製の棒 P, Q が図のように平行に配置されている。この上に質量 $10[g]$ のアルミニウムパイプを載せて，PQ の上端に電池をつないだとき，パイプが静止したままであるためにはどちら向きに何 $[A]$ の電流を流せばよいか。



(問題 15)

図のように、 z 軸正の向きに磁束密度 $B[T]$ の一様な磁界がある。原点 O から z 軸正の向きに対して θ の角度で電気量 $-e$ 、質量 $m[kg]$ の電子を、速さ $v[m/s]$ で発射した。

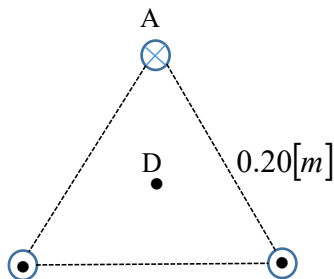
- (1) 電子にはたらく力の z 成分を求めよ。電子は z 軸方向にどのように運動するか。
- (2) xy 平面内で電子にはたらく力の大きさを求めよ。
- (3) xy 平面内では電子は円運動をする。その半径を r として加速度の大きさを r, v, θ で表せ。また半径 r と周期 T を求めよ。
- (4) 電子が原点 O を出てから再び z 軸を通過するまでに z 軸方向に進む距離を求めよ。



(問題 16)

真空中に一辺 $0.20[m]$ の正三角形 ABC があり、点 A には表から裏へ、点 B, C には裏から表へ、それぞれ $5.0[A]$ の直線電流が流れている。点 D は正三角形 ABC の中心である。真空の透磁率を $4\pi \times 10^{-7} [N/A^2]$ として、次の問いに答えよ。

- (1) 点 A を流れる電流が点 D につくる磁界の強さと向きを求めよ。
- (2) 点 A, B, C を流れる電流が点 D につくる合成磁界の強さと向きを求めよ。
- (3) 点 A を流れる電流の単位長さが、点 B, C を流れる電流がつくる磁界からうける力の合力の大きさと向きを求めよ。



(問題 17)

極板間の距離 d ，電気容量 C の平行板コンデンサーに対して，次のような操作①，②を行った。コンデンサーの正極板から $\frac{d}{6}$ も距離にある極板間の点を P として，①，②について

次の各量を求めよ。極板の面積は十分広く，極板間隔は十分小さいとする。

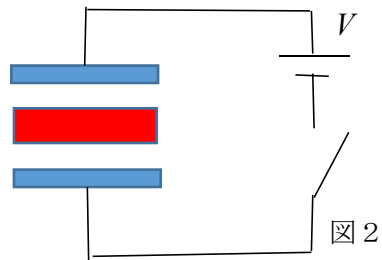
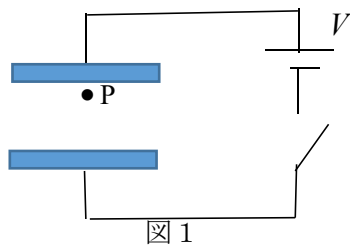
①このコンデンサーを，図 1 のように電圧 V に電池につないで充電した。

② ①で充電したコンデンサーを電池から切り離した後，厚さ $\frac{d}{3}$ の金属板を図 2 のように極板間の中央に入れた。

(1)点 P の電界の強さ

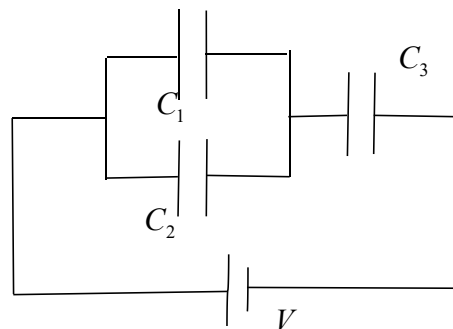
(2)負極版を基準とした点 P の電位

(3)コンデンサーの蓄えた静電エネルギー



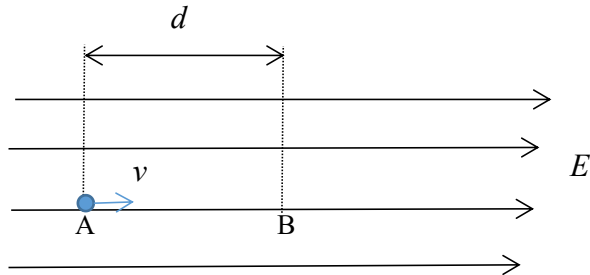
(問題 18)

電気容量がいずれも C の 3 つのコンデンサー C_1, C_2, C_3 を図のようにつないで，電圧 V の電池で充電した。合成容量と各コンデンサーが蓄える電気量を求めよ。



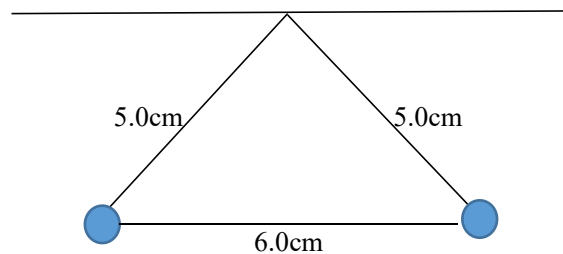
(問題 19)

図のような一様な電界中の点 A を、電界に沿って速さ v で電子が通過し、その後減速しながら点 B を通過した。電界の強さを E とすると、点 A から距離 d だけ離れた点 B を通過したときの電子の速さはいくらか。電子の持つ電気量を $e(e > 0)$ 、質量を m とする。



(問題 20)

長さ 5.0cm の 2 本の軽い糸の一端を天井に固定し、それぞれの下端に質量 $6.0 \times 10^{-6}\text{kg}$ の小球をつるす。2 球に等しい電気量 $q[\text{C}]$ を与えると、図のように 6.0cm だけ離れて静止した。2 球の間にはたらく電気量 q の大きさをそれぞれ求めよ。ただし、クーロンの法則の比例定数を $9.0 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ とする。

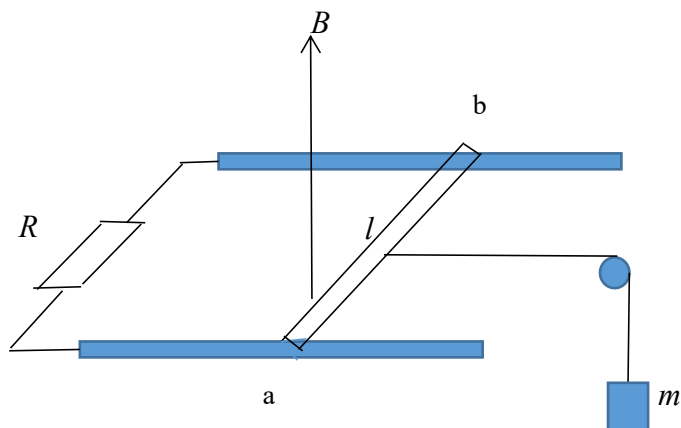


(問題 21)

図のように、長い 2 本の平行な金属レールを間隔 $l[\text{m}]$ だけはなして水平に置き、鉛直上向きに、磁束密度 $B[\text{T}]$ の一様な磁界をかける。レールの上に導体棒 ab を乗せ、滑車を通して質量 $m[\text{kg}]$ のおもりを糸でつり下げる。回路の電気抵抗はレールの左端に接続した $R[\Omega]$ の抵抗のみである。手を離したところ、やがておもりは一定の速さで落下した。誘導電流が流れる磁界は無視できるものとする。

(1) おもりの速さを $v[\text{m/s}]$ として、導体棒 ab の生じる誘導起電力の大きさを求めよ。

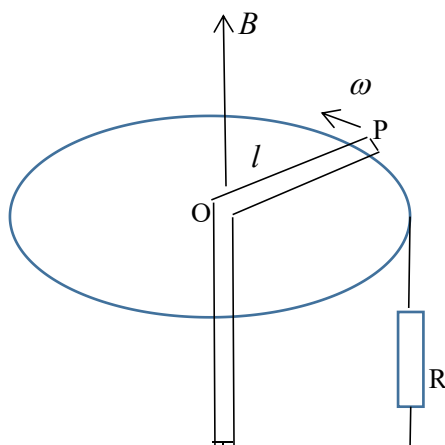
- (2) 回路を流れる電流の強さを， v などを用いて表せ。
- (3) 导体棒 ab を流れる電流が受ける力の大きさを， v などを用いて表せ。
- (4) 一定の速さで落下するようになったときのおもりの速さを求めよ。
- (5) (4)のとき，おもりが単位時間あたりに失う力学的エネルギーは何 J か。
- (6) (4)のとき，単位当たり時間に発生する熱は何 J か。



(問題 2 2)

図のように，磁束密度 $B[T]$ の鉛直上向きの一様な磁界の中で，長さ $l[m]$ の导体棒 OP が，なめらかな導線でできた半径 $l[m]$ の円周に沿って，水平面内を一定の角速度 $\omega[rad/s]$ で回転している。 R は $R[\Omega]$ の抵抗で，ほかに電気抵抗はないものとし，摩擦や誘導起電力がつかう磁界は無視できるものとする。

- (1) 导体棒 OP にある電子は， O ， P のどちらの方へ移動するか。
- (2) O と P では，どちらの電位が高いか。
- (3) 导体棒が単位時間あたりに磁界を横切る面積を求めよ。
- (4) 导体棒が単位時間あたりに磁界を横切る磁束が誘導起電力に等しいとして，导体棒に発生する誘導起電力の大きさを求めよ。
- (5) 导体棒を一定の速さで回転させるためには，导体棒に毎秒何 J の仕事を加えればよいか。

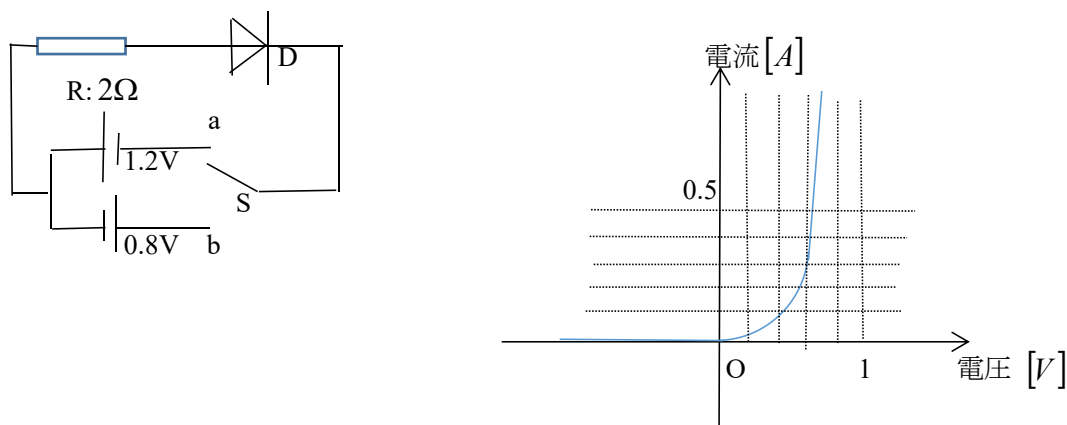


(問題 2 3)

図のような、抵抗 R 、ダイオード D 、電池、スイッチ S が接続された回路がある。
ダイオード D の電流-電圧の特性曲線は下のグラフのようになっている。電池には内部抵抗はないものとする。

(1) スイッチ S を a 側に入れたときに抵抗 R に流れる電流 $I_1[A]$ を求めよ。

(2) スイッチ S を b 側に入れたときに抵抗 R に流れる電流 $I_2[A]$ を求めよ。



(問題 2 4)

図のように、真空中に、長さ $L[m]$ 、全巻数 N_1 回の非常に長いコイル 1 がある。その中心部に、半径 $r[m]$ 、全巻数 N_2 回の小さなコイル 2 がある。真空の透磁率を $\mu_0[N/A^2]$ とする。

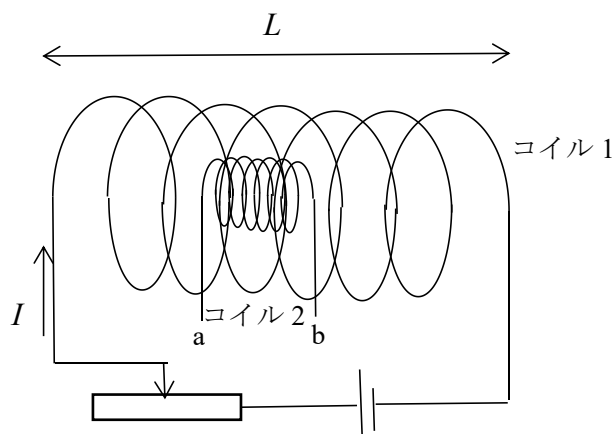
(1) コイル 1 に電流 $I[A]$ を流したとき、コイル 1 の中心部にできる磁界の強さを求めよ。

(2) (1) のとき、コイル 2 を貫く磁束を求めよ。

(3) コイル 1 の電流が、時間 $\Delta t[s]$ の間に、その矢印の向きに電流が $\Delta I[A]$ だけ増加したとき、コイル 2 の両端 a, b のどちらが電位が高いか。

(4) (3) のとき、コイル 2 に発生する誘導起電力の大きさを求めよ。

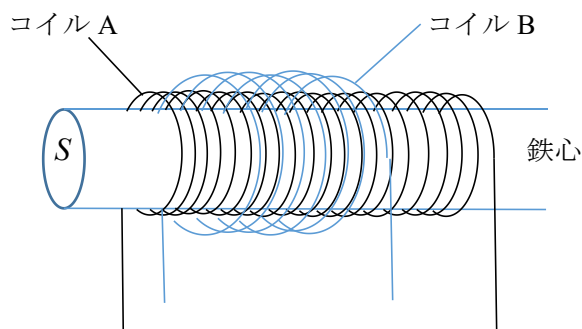
(5) コイル 1 と 2 の相互インダクタンスを求めよ。



(問題 2 5)

断面積 $S[m^2]$ で透磁率 $\mu[N/A^2]$ の鉄心に、単位長さ当たりの巻数 $n_A[m]$ のソレノイドコイル A を巻き、その上から合計巻数 N_B のコイル B を巻きつけた。コイル A に $I[A]$ の電流を流す。

- (1) コイル A の断面を貫く磁束 $\Phi[Wb]$ を求めよ。
- (2) コイル A を流れる電流 $I[A]$ を一定の割合で時間 $t[s]$ の間に 0 にするとき、コイル B の両端間に生じる誘導起電力の大きさ $V[V]$ を求めよ。
- (3) この 2 つのコイルの相互インダクタンス $M[H]$ を求めよ。

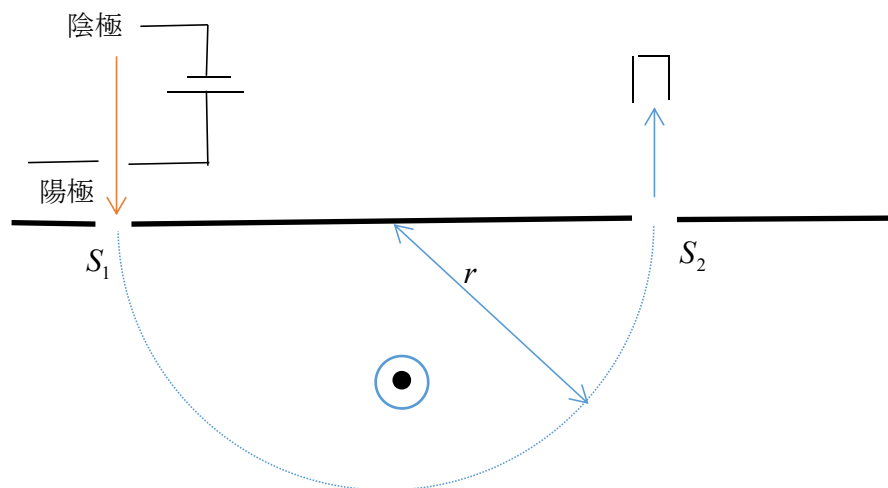


(問題 2 6)

真空中に置かれた図のような装置で、陰極から初速度 0 で出た電子 (質量 m , 電気量 $-e$) を電位差 V で加速し、スリット S_1 から、紙面に垂直に裏から表へ向かう向きの磁束密度 B の一様な磁界中に、磁界の向きに垂直に入射させる。

電子が磁界中で半径 r の円軌道を描き、半周した後にスリット S_2 から出てくるとき、

比電荷 $\frac{e}{m}$ を求めよ。また、電子が S_1 から S_2 に行くまでの時間 t を r, B, V で表せ。



(問題 27)

図のように、容器に入っている電極面積 S の平行板コンデンサーがある。コンデンサー下側電極は固定され、上側電極はばねでつるされている。この平行板コンデンサーはスイッチ $SW1$ を介して起電力 V_0 の電池につながっている。真空の誘電率を ϵ_0 とし、空気と真空の誘電率は等しいとする。さらに電極の面積 S は端の影響を無視できるほど大きいとする。電極の重さや浮力は無視できるものとして、次の問いに答えよ。

- (1) スイッチ $SW1$ を閉じるとばねがわずかに伸びて、図 1 のようにコンデンサーの電極間隔が d となって静止した。このときコンデンサーの電気容量 C_0 、コンデンサーに蓄えられている電荷 Q_0 と静電エネルギー U_0 を、 ϵ_0, S, V_0, d の中から適切な文字を用いて表せ。

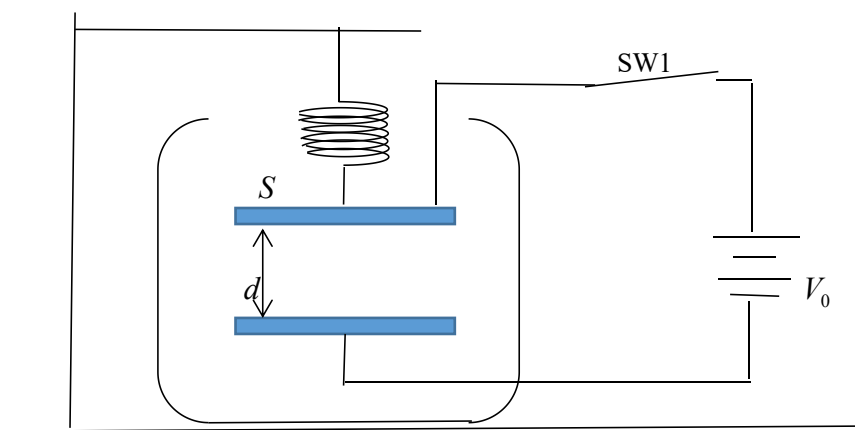


図 1

- (2) スイッチ $SW1$ を開き、コンデンサーを電池から切り離した。ここでわずかに外力を加えてコンデンサーの電極間隔を d から $d + \Delta d$ に変化させたときの静電エネルギーの変化量 ΔU を、 $\Delta d, \epsilon_0, Q_0, S$ を用いて表せ。 Δd は微小とする。

- (3) (1)でスイッチ $SW1$ を閉じたときのばねの伸びは $\frac{d}{20}$ であった。このばねのばね定数 k を ϵ_0, S, V_0, d を用いて表せ。

- (4) スイッチ $SW1$ を閉じたまま、容器に比誘電率 ϵ_r の油をコンデンサーが十分浸るように注入したところ、さらにばねが伸びて図 2 のように電極間隔が $\frac{d}{2}$ となった。このときのばねの伸びは $\frac{11}{20}d$ である。この油の比誘電率 ϵ_r を数値で求めよ。

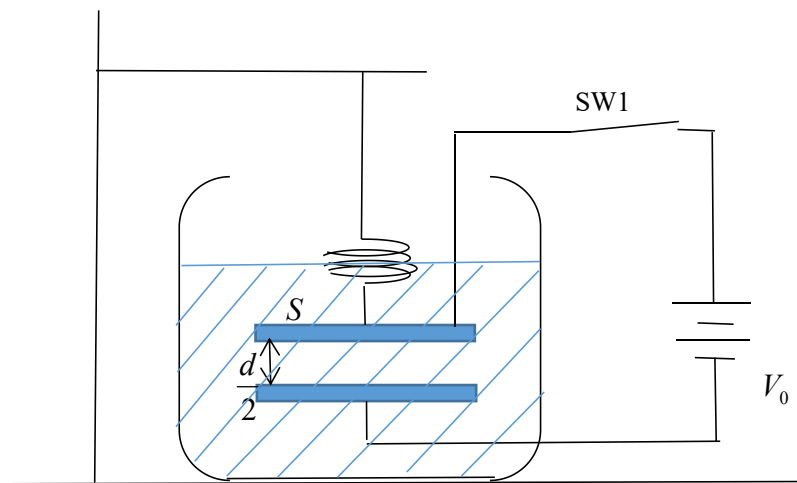


図 2

(5) 次にスイッチ SW1 を開き，コンデンサー上側電極を油に浸したまま持ち上げて電極間距離を d とし，油を完全にぬいた。このときコンデンサー電極間の電位差は V_0 の何倍になるか。

(問題 28)

極板 A, B からなる間隔 $d[m]$ の平行版コンデンサーに，起電力 $V[V]$ の電池とスイッチ S を図 1 のように接続する。スイッチ S を入れたところ，コンデンサーに電荷 $Q[C]$ がたくわえられた。次の問いに数値， d, V, Q または文字式で答えよ。

[A] 図 1 で

- (1) 極板 A, B 間の電場（電界）の強さは何 V/m か。
- (2) コンデンサーの電気容量は何 F か。
- (3) コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーは何 J か。

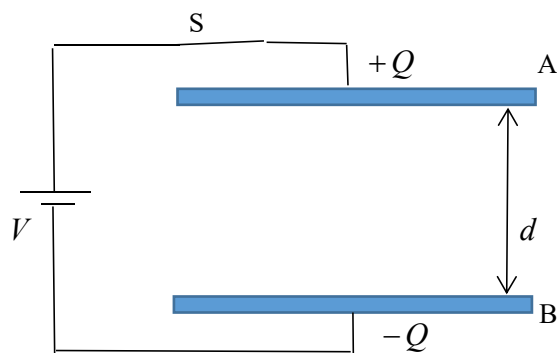


図 1

[B] 図 1 のようにスイッチ S を入れた状態のとき，極板と同じ形で 厚さ $\frac{d}{2}[m]$ の金属板を

図2のように、極板 A, B の中央に極板と平行に挿入した。その結果、コンデンサーにたくわえられた電気量が図1の場合と比べて変化した。

- (1) 金属板内の電場（電界）の強さは何 V/m か。
- (2) 極板 A, B 間で金属板の外の電場（電界）の強さは何 V/m か。
- (3) コンデンサーにたくわえられた電気量は何 C か。
- (4) コンデンサーの電気容量は図1の場合と比べて何倍か。
- (5) 図3のように、金属板を半分引き出すと、コンデンサーにたくわえられた電気量は何 C になるか。

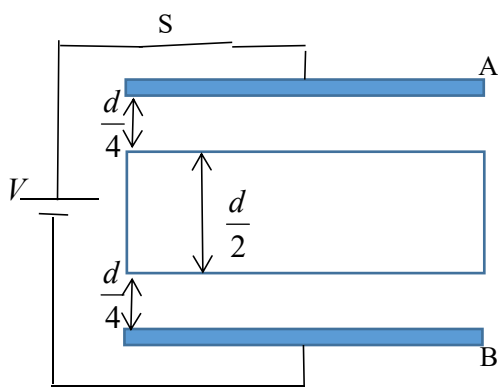


図2

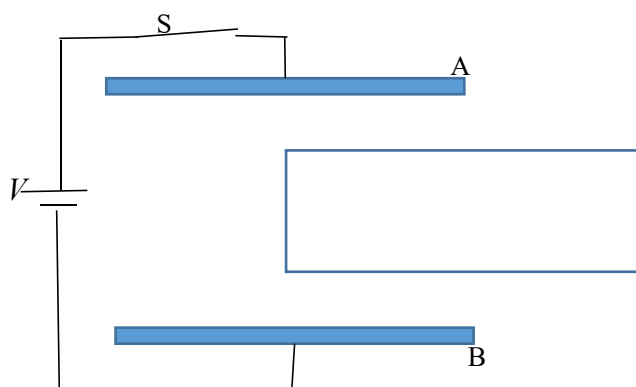


図3

[C] 図1の状態のとき、スイッチ S を切ってから、[B] と同じく、厚さ $\frac{d}{2}[m]$ の金属板を、図4のように、極板 A, B 間の中央に極板と平行に挿入した。その結果極板 A, B 間の電位差が、図1の場合と比べて変化した。

- (1) 金属板の極板 A に近い側の表面に現れる電気量は何 C か。
- (2) 極板 A, B 間で金属板の外の電場（電界）の強さは何 V/m か。
- (3) 極板 A, B 間の電位差は何 V か。
- (4) 図5のように、金属板を半分引き出すと、極板 A, B 間の電位差は何 V になるか。
- (5) 図4の状態から、金属板をゆっくりと完全に引き出すには、何 J の仕事が必要になるか。

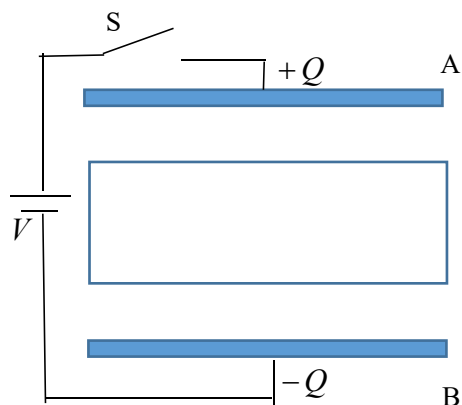


図4

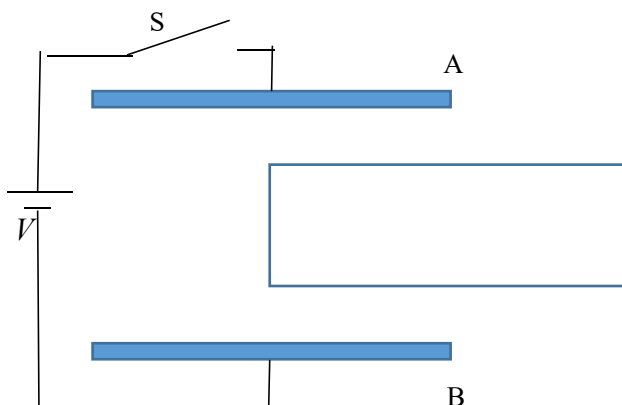
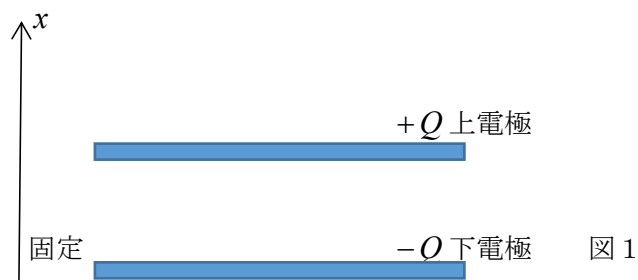


図5

(問題 29)

図1のように、真空中に、面積 S の2枚の水平な平行版からなる平行版コンデンサーがある。平行版コンデンサーの下端はつねに固定されているが、上電極は鉛直方向のみに自由に動くことができる。下電極の位置を基準とし、鉛直上向きを正とする座標 x を考える。

上電極の質量を m 、重力加速度の大きさを g 、真空の誘電率を ϵ_0 とする。ただし、電極間の距離は電極の半径より十分に小さいものとする。



[A] 平行版コンデンサーの上下電極に、それぞれ $+Q$ および $-Q (Q > 0)$ の電荷をたくわ

え、はじめに上電極を $x = D$ の位置に外力によって固定した。

(1) 外力を変化させ、上電極を位置 $x = D$ から $x = D + d$ に移動させた。コンデンサーにたくわえられている静電エネルギーの変化 ΔU を求めよ。

(2) 静電エネルギーの変化をもとに、上電極の位置が $x = D$ のときに、極板間にはたらく静電気力の大きさ F_E を求めよ。

(3) 図2のように、ばね定数 k の重さが無視できるばねを上電極に取り付け、ばねの上端を固定した。このとき、上電極は $x = D$ の位置で外力によって固定されており、ばねは自然の長さである。上電極を支えていた外力をはずしたところ、上電極は下電極と接触することなく単振動を始めた。上下電極の間隔が最もせまいとき、下電極の電位を基準とした上電極の電位 V_1 を求めよ。ただし、上下電極に、それぞれ $+Q$ および $-Q$ の電荷をたくわえられており、ばねに電荷が逃げることはないものとする。

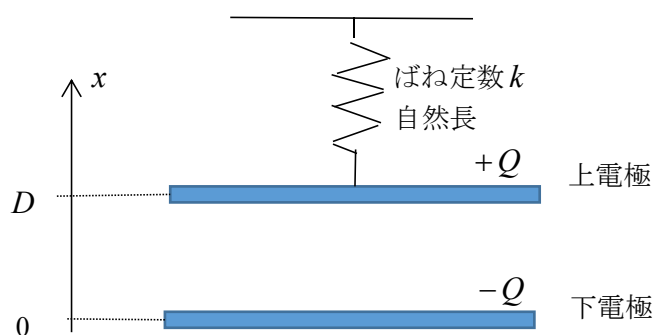


図 2

[B] 図1の平行板コンデンサーを完全に放電したあと、図3に示すように厚さ $\frac{1}{2}D$,誘電率 $3\epsilon_0$,面積 S の誘電体円板を,下電極に重なるように置き,電流計と起電力 V_0 の電池を接続した。さらに外力を用いて,図4に示すように,上電極の位置が $x=D$ から $x=D+a$ の間で周期 T をもって周期運動するように動かした。上電極は時刻 $\frac{1}{2}nT$ から $\frac{1}{2}(n+1)T$ (n は0以上の整数)の間,一定の速度で動いている。電池と電流計の内部抵抗は無視できるものとする。

(4) $0 < t < \frac{1}{2}T$ を満たすある時刻 t において,上電極は $x=D+b$ の位置にあった。

($0 < b < a$)。平行板コンデンサーの電気容量 C' を求めよ。また,平行板コンデンサーの上電極にたくわえられている電荷量 Q' を求めよ。

(5) a は D に比べて十分小さいとして,(4)で求めた Q' の近似値を求めてみよう。(4)で求めた Q' は,上電極の位置が $x=D$ のときの電気容量を C_0 とすると

$$Q' = \boxed{\text{ア}} (1 + \boxed{\text{イ}})^{-1}$$

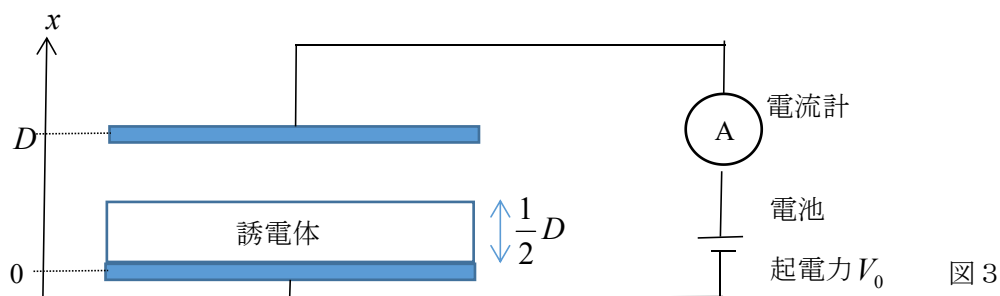
と書ける。ここで $b < a$ であるので, b は D に比べて十分小さい。そのため(イ)は1の比べて十分小さい。 1 より十分小さい z ($|z| \ll 1$)に対して成り立つ近似式

$(1+z)^{-1} = 1-z$ を使うと Q' は

$$Q' = \boxed{\text{ア}} (1 - \boxed{\text{イ}})$$

(6) (5)で求めた Q' の近似値を用いて,電流計が示す電流の変化のようすを時刻 $t=0$ から時刻 $t=2T$ の範囲で図5に図示せよ。また,電流計が示す電流の最大値 I_m を答えよ。

ただし,電池の正極から電流が流れだすときの電流値を正とする。また時刻が $\frac{1}{2}nT$ 付近(図5の斜線の領域)におけるようすは示さなくてよい。



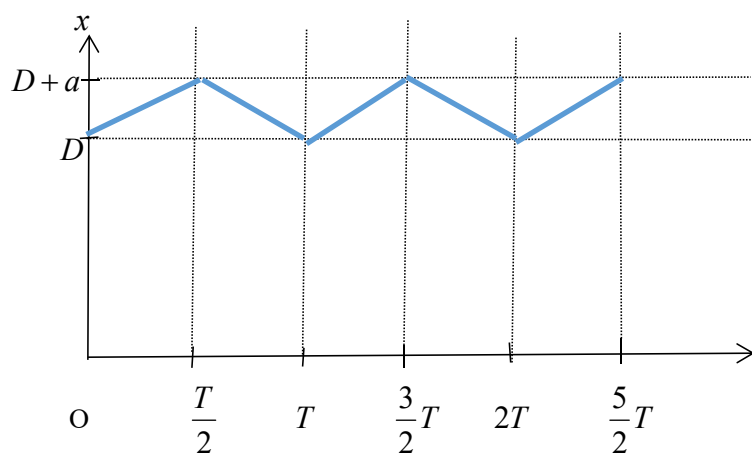


图 4

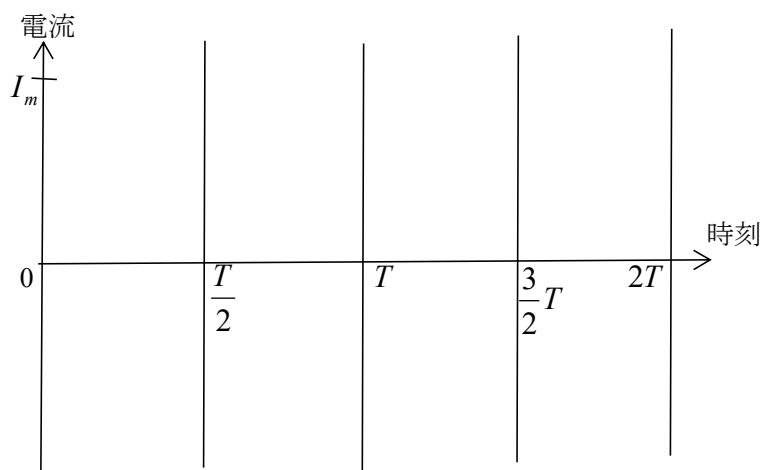


图 5