1 ページ目

90

6 交流

電圧と電流

	抵抗	コイル	コンデンサー
	R [Ω]	L [H]	C [F]
	V = RI	$V = \omega LI$	$V = \frac{1}{\omega C}I$
電圧の位相と電流の位相	電圧に対して位相は同じ	電圧に対して電流は遅れる	電圧に対して電流は進む

※ V, I は共に実効値、または共に最大値。ω は角周波数
実効値 $= \frac{最大値}{\sqrt{2}}$
※ 消費電力は抵抗でのみ生じ $RI^2 = V_e I_e$ (V, I は実効値)

電気振動

周期 $T = 2\pi\sqrt{LC}$
静電エネルギー $\frac{1}{2}CV^2$ + 磁気エネルギー $\frac{1}{2}Li^2$ = 一定

電磁気 91

■135　空欄に入る数値を、解答群から選べ。同じものを繰り返し選んでもよい。発電所で発電された交流の電気は、変圧器 (トランス) により電圧を高くして、送電線を通して送られる。たとえば、電圧を 10 倍にするには変圧器の 1 次コイルの巻数に対して 2 次コイルの巻数を **(1)** 倍にすればよい。このとき周波数は **(2)** 倍になる。発電所から同じ電力を送るとき、送電線に送り出す電圧 (送電電圧) を 10 倍にすると、送電線を流れる電流は **(3)** 倍になる。この結果、送電線の抵抗によって熱として失われる電力は **(4)** 倍になる。ただし、送電線の抵抗は変化しないものとする。

(1) $\frac{1}{100}$
(2) $\frac{1}{10}$
(3) $\frac{1}{\sqrt{10}}$
(4) 1
(5) $\sqrt{10}$
(6) 10
(7) 100

■136　図 1 のように、抵抗値 R の抵抗、電気容量 C のコンデンサーおよび自己インダクタンス L のコイルを直列に接続し、交流電源につないだ回路がある。オシロスコープで抵抗の両端の電圧を観測したところ、図 2 のような周期 T, 最大値 V_0 の正弦曲線であった。

図 1 の画像　図 2 の画像

(1) 交流の角周波数を求めよ。

以下、(5) 以外は T の代わりに ω を用いて答えよ。(2) 抵抗に流れる電流を時刻 t の関数として表せ。また実効値を求めよ。(3) この直列回路での消費電力 (平均電力) を求めよ。(4) コンデンサーにかかる電圧の実効値を求めよ。また、電圧 v_C を時刻 t の関数として表せ。(5) 図 2 で、コンデンサーにかかる電圧が 0 になる時刻 t を $0 \leq t \leq T$ の範囲で求めよ。(6) コイルにかかる電圧の実効値を求めよ。また、電圧 v_L を時刻 t の関数として表せ。(7) 電源電圧の最大値 V を求めよ。また、ab 間の電圧の最大値 V_{ab} を求めよ。

■137　電池 (起電力 V), 抵抗 (抵抗値 R), コンデンサー (容量 C), コイル (自己インダクタンス L), スイッチ S1, S2 からなる回路があり、最初 S1, S2 は開いている。

137 の回路図

2 ページ目

92

池やコイルなどの内部抵抗は無視する。(1) S1 を閉じる。

(a) 閉じた直後に抵抗に流れる電流 I_0 を求めよ。
(b) 電流が i $(0 \leq i \leq I_0)$ になったとき、コンデンサーに蓄えられた電気量 q を求めよ。
(c) 十分時間が経過した後、コンデンサーに蓄えられる電気量 Q を求めよ。

(2) S1 を閉じて十分時間が経過した後、S1 を開き、次に S2 を閉じる。

(a) 回路を流れる振動電流の最大値を求めよ。
(b) S2 を閉じた直後からの i の時間変化を図示せよ。ただし、i は時計回りの向きを正とする。
(c) S2 を閉じてから、コンデンサーの下側極板 B の電荷が正で最大となるまでにかかる時間を求めよ。

■138*　電気容量 C のコンデンサー、自己インダクタンス L のコイル、抵抗値 R の抵抗および起電力 V の電池を図のように接続した。初めスイッチ S を開いておく。R 以外の抵抗はないものとする。

138 の回路図

(1) S を閉じた直後に電池を流れる電流 I_0 を求めよ。(2) S を閉じてから十分に時間がたったとき、コイルを流れる電流 I を求めよ。また、このときのコンデンサーの電気量を求めよ。(3) 次に S を開いた。コイルを流れる電流が最初に 0 になるまでの時間を求めよ。(4) その後のコンデンサーの電位差の最大値 V_m を求めよ。

電磁気 93

7 電磁場内の荷電粒子

一様電場内

放物運動
静電気力 $F = qE$

一様電場内の荷電粒子の図

一様磁場内

等速円運動
ローレンツ力 $f = qvB$ が向心力
※ 磁場方向は等速運動

一様磁場内の荷電粒子の図

■139　質量 m[kg], 電荷-e[C], 初速 0 の電子を電圧 V_0[V] で加速し、間隔 d[m], 長さ l[m], 極板間電圧 V[V] の平行極板間を通過させる。電子の入射方向に x 軸をとり、極板の左端を原点 O とする。

$\boxed{\text{139 の装置の図}}$

極板は x 軸に平行で、電子は極板間の一様な電場 (電界) から力を受け、蛍光面上に到達する。y 軸は極板に垂直であり、蛍光面は x 軸に垂直で x=L[m] の位置にある。(1) 平行極板間に入射するときの電子の速さ v_0 はいくらか。(2) 極板間で電子が受ける力の大きさはいくらか。また、極板の右端 (x=l) における電子の y 座標 y_1 を求めよ。v_0 を用いてよい (以下の問も同様)。(3) 蛍光面上に到達したときの電子の y 座標 y_2 を求めよ。(4) 平行極板間の領域に一様な磁場 (磁界) を加えることによって電子の軌道を x 軸からそれないようにしたい。磁束密度 B および磁場の向きをどのように選べばよいか。

3 ページ目

94

■140　z 軸の正の方向に磁束密度が B の一様な磁界がかかっている。質量が m で電荷が q(¿0) の荷電粒子を、原点 O から yz 面内で y 軸から角度 θ の方向に一定速度 v で打ち出した。重力の影響は無視する。

140 の座標系の図

(1) y 軸の正の方向 ($\theta = 0$) に打ち出した場合、荷電粒子は等速円運動をする。この等速円運動の中心点の座標 (x_0, y_0, z_0) を求めよ。また、1 周するのに要する時間はいくらか。(2) z 軸の正の方向 ($\theta = \pi/2$) に打ち出した場合、この荷電粒子はどのような運動をするか説明せよ。(3) y 軸との角度 θ $(0 < \theta < \pi/2)$ の方向に打ち出した場合について、

(a) 荷電粒子はどのような運動をするか、説明せよ。
(b) 原点 O から荷電粒子が打ち出されてから、次に初めて z 軸と交わるまでの時間を求めよ。また、この交点を P とするとき、OP 間の距離はいくらか。

■141　次の (1)〜(5) には式を、(a)〜(e) には適当な語句を入れよ。直方体の n 型半導体があり, x, y, z 方向の長さをそれぞれ a, b, c とする。また、半導体は単位体積あたり n 個の電子をもつ。図のように y 軸の正の向きに強さ I の一様な電流が流れている。

141 の半導体の図

電子の電荷の大きさを e、平均の速さを v とすると、電流 I は **(1)** と表される。いま、z 軸の正の向きに磁束密度 B の一様な磁場を加えた。電子はやはり平均の速さ v で運動しているとすると、大きさ **(2)** の力を x 軸の **(a)** の向きに受ける。この力は **(b)** とよばれる。その結果、電子が x 軸方向で移動するため、M に対して N の電位は **(c)** なり、MN 間には電場が発生する。やがて半導体内の電子に対して磁場による

電磁気 95

力と電場による力がつりあうことになる。この状態での電場の強さは **(3)** と表される。したがって、MN 間の電位差 V は **(4)** と表され、I を用いると V= **(5)** と表される。次に、n 型半導体のかわりに p 型半導体で同様な実験を行った。p 型では **(d)** が電流のにない手となるので、M に対して N の電位は **(e)** なる。

■142　＿＿＿＿＿に語句または式を記し、問いに答えよ。電気量には最小の単位があり、全ての電気量はその整数倍になっている。この最小単位を電気素量といい、これは **(ア)** のもっている電気量の大きさに等しい。ミリカンは、図 1 のような装置に霧吹きから油滴を吹き込み、間隔 d[m] の平行な極板 A, B の間を上下する油滴を顕微鏡で観察し、電気素量 e[C] を測定した。密度 ρ[kg/m^3], 半径 r[m] の球形の油滴の運動を考える。重力加速度を g[m/s^2] とし、空気の浮力は無視する。

142 の図 1　142 の図 2

油滴は極板間に電場がないときは、重力と空気の抵抗力を受けて、鉛直下向きに一定の速さ (終端速度)v_1[m/s] で落下する。空気の抵抗力は r と v_1 の積に比例するので、比例定数を k とすると、この抵抗力と重力のつり合いの式は **(イ)** と書ける。油滴は一般に帯電している。その電気量を q[C] とする。A に対する B の電位を V[V](V¿0) とすると、油滴は図 2 に示すように、鉛直上向きに一定の速さ v_2[m/s] で上昇した。このときのつり合いの式は **(ウ)** とな

る。(イ) と (ウ) より q は v_1, v_2, d, r, k, V を用いて, q= **(エ)** と表される。