

令和 6 年度

第 2 種 理 論

(第 1 時限目)

答案用紙記入上の注意事項等

1. マークシート（答案用紙）は機械で読み取りますので、**濃度HBの鉛筆又はHBの芯を用いたシャープペンシルで濃く塗りつぶしてください。**

色鉛筆やボールペンでは機械で読み取ることができません。

なお、訂正は「プラスチック消しゴム」できれいに消し、消しくずを残さないでください。

2. マークシートには、カナ氏名、受験番号、試験地が印字されています。受験票と照合の上、**氏名、生年月日**を記入してください。

マークシートに印字してある

- ・カナ氏名
- ・受験番号
- ・試験地

を受験票と照合の上、記入してください。

氏 名	
生年月日	
カナ氏名 (字数制限の省略あり)	印字あり
試験地	印字あり

受	験	番	号
印	字	あ	り

3. マークシートの余白及び裏面には、何も記入しないでください。
4. マークシートは、折り曲げたり汚したりしないでください。

5. 解答は、マークシートの間番号に対応した解答欄にマークしてください。

例えば、問1の

(1)

 と表示のある問に対して(イ)と解答する場合は、下の例のように問1の(1)の(イ)をマークします。

なお、マークは各小問につき一つだけです。二つ以上マークした場合には、採点されません。

(マークシートへの解答記入例)

問 1				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
☒	☐	☐	☐	☐
☐	☒	☐	☐	☐
☐	☐	☒	☐	☐
☐	☐	☐	☒	☐
☐	☐	☐	☐	☒
☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐

問		
(1)	(2)	(3)
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐

正解と思われるものの記号の枠内を、マークシートに印刷されているマーク記入例に従い、濃く塗りつぶす方法で示してください。

6. 問7と問8は選択問題です。どちらか1問を選択してください。選択問題は両方解答すると採点されません。

7. 問題文で単位を付す場合は、次のとおり表記します。

① 数字と組み合わせる場合

(例: 350 W $f=50$ Hz 670 kV・A)

② 数字以外と組み合わせる場合

(例: I [A] 抵抗 R [Ω] 面積は S [m^2])

(この問題は持ち帰ってください。また、白紙部分はメモ用紙として使用できます。)

次ページ以降は試験問題になっていますので、試験開始の合図があるまで、開いてはいけません。

試験問題に関する質問にはお答えできません。

A問題(配点は1問題当たり小問各3点, 計15点)

問1 次の文章は, 誘電体が挿入された平行平板コンデンサに関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

平行平板コンデンサ内を次の2種類の誘電体で完全に満たす。

誘電体1: 誘電率は ϵ_1 , 印加できる最大電界は E_{1m}

誘電体2: 誘電率は ϵ_2 , 印加できる最大電界は E_{2m}

ただし, $\epsilon_1 E_{1m} > \epsilon_2 E_{2m}$ であり, 端効果は無視できるものとする。

図のように誘電体1と2は同体積で, 界面が電極と平行になっている。電極間の距離は d である。このコンデンサにおいて, 二つの誘電体内部の (1) の大きさは同じであるので, 誘電体1と2の電界をそれぞれ E_1 , E_2 とすると, (2) の関係が成り立つ。

$\epsilon_1 E_{1m} > \epsilon_2 E_{2m}$ なので, 印加電圧を上げていくと先に最大電界に達するのは (3) であり, このことから, そのときの電界 E_1 , E_2 はそれぞれ (4) である。

したがって, 電極間に印加できる最大電圧 V_m は (5) である。



[問 1 の解答群]

(イ) 誘電体 1

$$(㍑) \frac{d}{2} \frac{\varepsilon_1 E_{1m} + \varepsilon_2 E_{2m}}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}$$

(ハ) 誘電体 2

$$(㍒) \frac{d}{2} \left(1 + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \right) E_{2m}$$

(ホ) 電束密度

$$(㍔) \frac{d}{2} \left(1 + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \right) E_{1m}$$

(ト) 電界

$$(㍕) \varepsilon_1 E_1 = \varepsilon_2 E_2$$

(リ) 分極

$$(㍖) \varepsilon_1 E_2 = \varepsilon_2 E_1$$

$$(㍗) \left(1 + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \right) E_2 = \left(1 + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \right) E_1$$

$$(㍙) E_1 = E_2$$

$$(㍚) E_1 = E_{1m}, \quad E_2 = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} E_{1m}$$

$$(㍛) E_1 = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} E_{2m}, \quad E_2 = E_{2m}$$

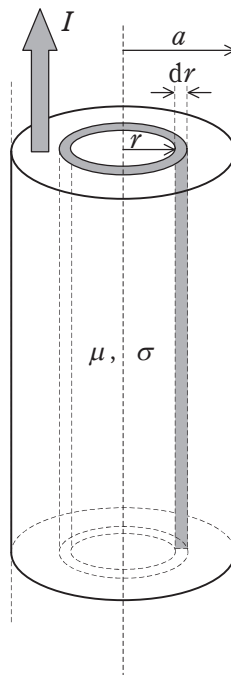
$$(㍜) E_1 = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} E_{1m}, \quad E_2 = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} E_{2m}$$

問2 次の文章は、円柱導体内外の電磁界に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図のように、透磁率 μ 、導電率 σ の材料からなる半径 a の十分に長い円柱導体を考える。

大きさが I の直流電流が、一様な密度で円柱導体に流れている場合、導体内で中心軸からの位置 r ($\leq a$)における磁界の強さは (1) となる。 r における単位体積当たりの磁気エネルギーを $w_m(r)$ とすると、微小幅 dr 、単位長さの円筒のもつエネルギーは $w_m(r)2\pi r dr$ と表される。これを $r=0\sim a$ の範囲で積分することにより、円柱導体の内部に蓄えられる単位長さ当たりの磁気エネルギー $W_i =$ (2) を求めることができる。

I を流すために必要な電圧は、単位長さ当たり $E_{DC} =$ (3) である。一方、実効値が I と同じ大きさの交流電流を流すために必要な単位長さ当たりの交流電圧の実効値 E_{AC} は、 E_{DC} と (4) の関係がある。周波数が高い場合、表皮効果により、導体断面における交流電流の電流密度 J は図 (5) のようになる。



〔問2の解答群〕

(イ) $E_{AC} < E_{DC}$

(ロ) $E_{AC} > E_{DC}$

(ハ) $E_{AC} = E_{DC}$

(ニ) $\frac{\mu I^2}{24\pi^2 a}$

(ホ) $\frac{I}{2\pi r}$

(ヘ) $\frac{\mu I}{8\pi}$

(ト) $\frac{\mu I^2}{32\pi^2}$

(チ) $\frac{rI}{2\pi a^2}$

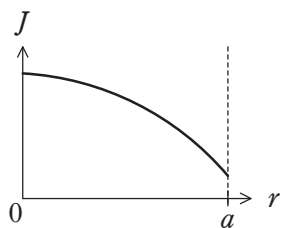
(リ) $\frac{\sigma I}{\pi a^2}$

(ヌ) $\frac{\mu I^2}{16\pi}$

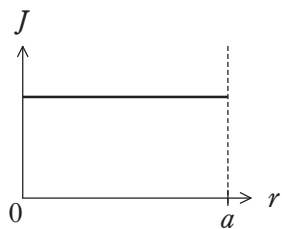
(ル) $\frac{I}{\sigma \pi a^2}$

(ヲ) $\frac{rI}{\pi a^2}$

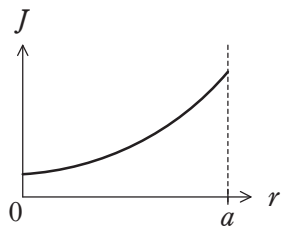
(7)



(カ)



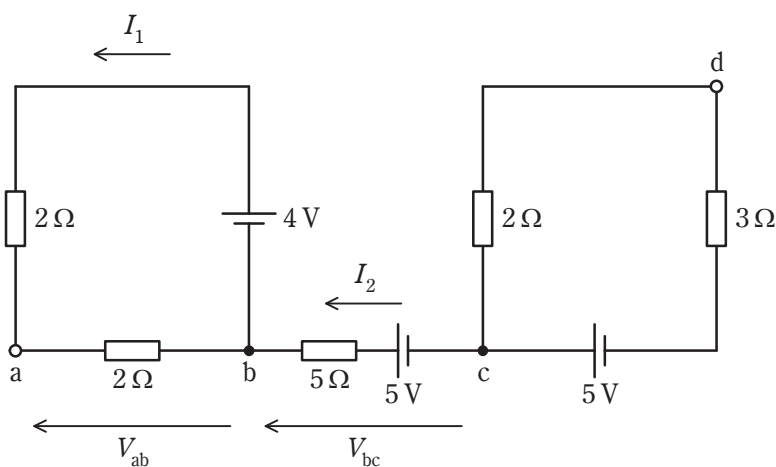
(コ)



問3 次の文章は、直流回路に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図に示すような直流電圧源及び抵抗から構成される回路を考える。ただし、回路の電圧・電流は、図の矢印の向きを正とする。

この回路において、点 b における電流則を踏まえれば、電流 $I_1 = \text{ (1) } \text{ A}$ ，電流 $I_2 = \text{ (2) } \text{ A}$ である。また、点 a 及び点 b 間の電圧 $V_{ab} = \text{ (3) } \text{ V}$ ，点 b 及び点 c 間の電圧 $V_{bc} = \text{ (4) } \text{ V}$ であり、点 a 及び点 d 間の電圧の大きさ $|V_{ad}| = \text{ (5) } \text{ V}$ である。



〔問 3 の解答群〕

(イ) -3

(ロ) -2

(ハ) -1

(ニ) 0

(ホ) 1

(ヘ) 2

(ト) 3

(チ) 4

(リ) 5

(ヌ) 6

(ル) 7

(ヲ) 8

(ワ) 9

(カ) 10

(ヨ) 11

問4 次の文章は、回路の過渡現象に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図1に示すように、抵抗、コンデンサ、直流電流源、スイッチからなる回路を考える。初期状態ではスイッチが開いており回路は定常状態にあるものとする。時刻 $t=0$ でスイッチを閉じた後スイッチを通過する電流 i の変化について考察する。

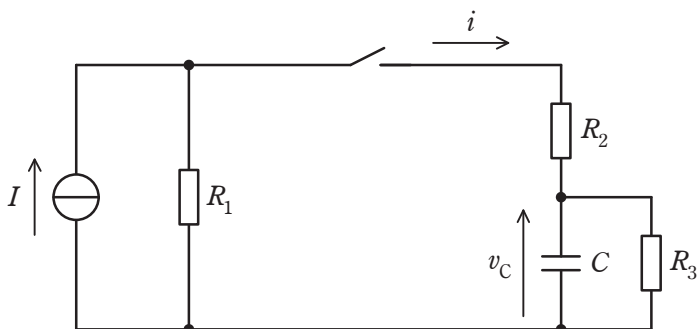


図1

スイッチを入れる前の初期状態においてコンデンサ C の電圧 v_C は (1) である。スイッチを入れた直後に流れる電流 $i(0)$ は R_3 とは無関係であり、次のように計算できる。

$$i(0) = \text{(2)}$$

その後コンデンサ C には電流が流入して徐々に電圧が増加するが、電圧が増加すればするほど電流の流入は少なくなり、やがて定常状態に達する。定常状態ではコンデンサ C の電圧は一定で電流は流れないので、 R_2 の電流は全て R_3 に流れる。スイッチ右側の負荷は抵抗 R_2 と (3) の直列接続であるので、定常状態でスイッチを流れる電流 $i(\infty)$ は

$$i(\infty) = \text{(4)}$$

以下、コンデンサ C の充電時定数 τ について考える。 v_C は、定常項 v_{Cs} (図2参照) と過渡項 v_{Ct} (図3参照) を足し合わせたものである。このうち v_{Cs} は時間的に変化せず、 v_{Ct} の時定数は τ である。過渡項は「定常状態(図2)の C の電圧 $v_{Cs}(\infty)$ と同じ大きさで極性が逆向きの電圧 $v_{Ct}(0)$ 」が C に生じている状態(図3: 左端の電流源は開放)から開始される放電現象であるから、その時定数 τ は容量 C と、図3において C の両端から見た等価抵抗 (5) の積で与えられる。

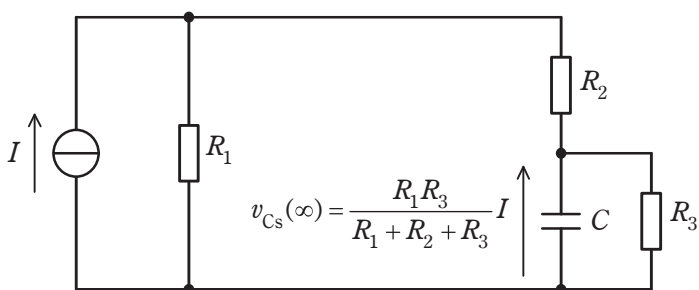


図 2

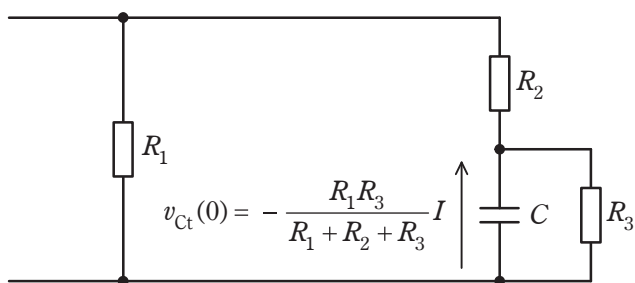


図 3

[問 4 の解答群]

- | | | |
|--|--|---|
| (イ) R_1 | (ロ) R_3 | (ハ) 0 |
| (ニ) IR_1 | (ホ) IR_3 | (ヘ) C |
| (ト) $\frac{R_3(R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3}$ | (チ) $\frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}$ | (リ) $\frac{R_1 R_2 R_3}{R_2 R_3 + R_3 R_1 + R_1 R_2}$ |
| (ヌ) $\frac{R_1}{R_1 + R_2} I$ | (ル) $\frac{R_2}{R_1 + R_2} I$ | (レ) $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I$ |
| (ワ) $\frac{CR_1}{R_1 + R_2 + R_3} I$ | (ヲ) $\frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} I$ | (エ) $\frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} I$ |

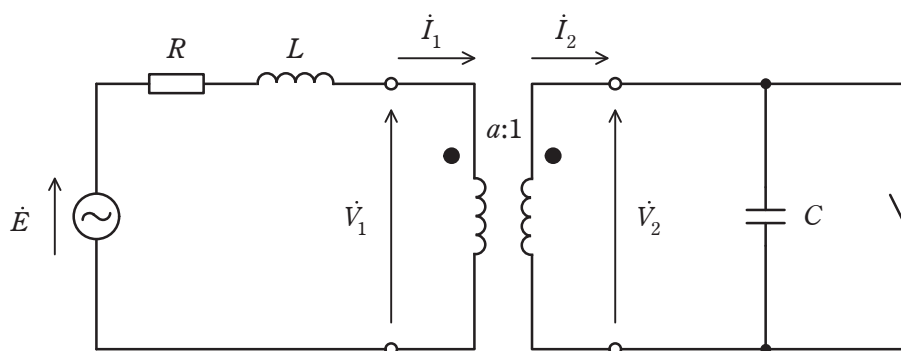
B問題(配点は1問題当たり小問各2点，計10点)

問5 次の文章は理想変成器を含む交流回路に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図のように，電圧 $\dot{E}$ ，角周波数 ω の正弦波交流電源に抵抗値 R の抵抗，インダクタンス L のコイル，巻数比 $a:1$ の理想変成器，静電容量 C のコンデンサとスイッチが接続されている。理想変成器の一次側，二次側の電圧，電流の関係は次のとおりである。

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & \frac{1}{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$$

- (a) 回路のスイッチが開いているとき，理想変成器の一次側の電流 $\dot{I}_1$ は $\dot{I}_1 = \text{ (1) }$ となる。電流 $\dot{I}_1$ が電源電圧 $\dot{E}$ と同相となるのは巻数比 a が $a = \text{ (2) }$ のときである。このとき理想変成器の一次側の電圧 $\dot{V}_1$ が $|\dot{V}_1| = |\dot{E}|$ となる角周波数 ω は $\omega = \text{ (3) }$ である。
- (b) 回路のスイッチが閉じているとき，理想変成器の一次側の電流 $\dot{I}_1$ は $\dot{I}_1 = \text{ (4) }$ となる。このときの回路の消費電力を P とすると $P = \text{ (5) }$ となる。



[問5の解答群]

$$(イ) \frac{\dot{E}}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$$

$$(ロ) \frac{\dot{E}a}{R + j\omega L + \frac{a}{j\omega C}}$$

$$(ハ) \frac{\dot{E}}{R}$$

$$(ニ) \frac{\dot{E}a^2}{R + j\omega L + \frac{a^2}{j\omega C}}$$

$$(ホ) \omega\sqrt{LC}$$

$$(ヘ) \frac{\dot{E}}{R + j\omega L + \frac{a^2}{j\omega C}}$$

$$(ト) \omega^2 LC$$

$$(チ) \frac{1}{CR}$$

$$(リ) \frac{R}{L}$$

$$(ヲ) \frac{1}{\omega\sqrt{LC}}$$

$$(ル) \frac{|\dot{E}|^2 \omega L}{R^2 + \omega^2 L^2}$$

$$(ヲ) \frac{|\dot{E}|^2 R}{R^2 + \omega^2 L^2}$$

$$(ヲ) \frac{1}{LC}$$

$$(カ) \frac{|\dot{E}|^2}{R}$$

$$(ヰ) \frac{\dot{E}}{R + j\omega L}$$

問6 次の文章は、交流ブリッジと浮遊容量に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図1は、インピーダンス Z_x を校正するための交流ブリッジで、既知の標準インピーダンス Z_1 , Z_2 , Z_3 , 検出器 (D) 及び電源で構成される。なお, I_x , I_1 , I_2 , I_3 は4辺を流れる電流, I_a , I_b , I_c は浮遊容量を通じてグラウンドへ流れる漏れ電流である。

まず, 図1から浮遊容量を除去した回路を考える。 Z_2 を調整して (D) が零を指したとき, 電流は $I_x = I_1$, $I_2 = I_3$ のように均衡し, 校正值は $Z_x = \frac{Z_1 Z_3}{Z_2}$ で得られる。

次に, 図1のとおり浮遊容量を有する回路で, (D) が零を指した場合を考える。このとき, c とグラウンドは等電位なので $I_c = 0$ である。一方, a 及び b は, グラウンドに対して電位差を持つため, I_a 及び I_b (ただし, $I_a + I_b \neq 0$) が流れる。よって, 4 辺の電流の均衡は (1) のように崩れ, その結果, 校正誤差が生じる。ゆえに, 漏れ電流起因の校正誤差を減ずるための仕組みが必要になる。

一例を図2に示す。この回路は, インダクタ(抵抗 R_x とインダクタンス L_x の直列)を校正するのに用いられる (2) ブリッジに, 増幅率が $-A$ の増幅器を図のように付加したものである。なお, d は接地されておらず, 容量性リアクタンス X_d を通じて漏れ電流 I_d が流れる。また, (D) は零を指している。

R_2 と C_2 の合成インピーダンスを Z_2 , b 及び d の電位を, それぞれ, V_b 及び V_d とすれば, $V_b = -AV_d$, $V_d = X_d I_d$, $V_d - V_b = Z_2 I_2$ であるから, 次式が求められる。

$$\frac{I_d}{I_2} = \text{(3)}$$

上式において, A が十分に大きい場合, $I_d = 0$ と見なせるので, $I_2 = I_3$ が成立する。さらに, $V_d = 0$ と見なせるので, c 及び d はグラウンドと等電位になる。よって, $I_c = 0$ となるから, $I_x = I_1$ が成立する。

このように, 図2の校正回路は, 漏れ電流の影響を受けずに4辺の電流が均衡する。そして, インダクタの校正值である $R_x = \text{(4)}$, $L_x = \text{(5)}$ が得られる。

問 7 及び問 8 は選択問題であり、問 7 又は問 8 のどちらかを選んで解答すること。
両方解答すると採点されません。

(選択問題)

問 7 次の文章は、半導体中の電界による電気伝導に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。なお、半導体中の正孔の電荷量を e (>0)、有効質量を m_h とし、有効質量の変化は無視できるものとする。

p 形半導体中に一定の電界 E が一様に印加されているとき、一つの正孔は電界から力 $F_1 =$ (1) を受けて運動する。その速度を v とする。一方、半導体中で運動する正孔は、格子振動などによる散乱を受け、速度 v に比例する大きさで、 v を減速させる向きの力 F_2 を受ける。その比例定数を $\frac{m_h}{\tau}$ と仮定すると、 $F_2 =$ (2) と

表される。なお、 τ は、正孔が散乱を受けるまでの時間の目安となる定数である。
 F_1 と F_2 が釣り合うと速度 v は一定となり、その大きさは $v =$ (3) $\cdot E$ と表される。この v をドリフト速度と呼び、 (3) は、 (4) と呼ばれる。 v が一定である場合は正孔の運動エネルギーは変化しないが、一方で、正孔は電界から常に仕事をされている。すなわち、電界から力 F_1 を受けて距離 Δx 移動する際に正孔が電界から受け取るエネルギーは $F_1 \cdot \Delta x$ であり、単位時間当たりに受け取るエネルギー P は、 Δx 進むのに必要な時間 Δt で除すことにより、 $P = F_1 \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t}$ である。これを e 、

τ 、 m_h 、 E を用いて表すと、 $P =$ (5) となる。 P は正孔一つ当たりのジュール損失に相当する。

[問7の解答群]

(イ) フェルミ準位

(ロ) 拡散定数

(ハ) 移動度

(ニ) $\frac{m_h}{e^2\tau}E^2$

(ホ) $\frac{e^2\tau}{m_h}E^2$

(ヘ) $\frac{m_h}{v\tau}$

(ト) $\frac{e}{E}$

(チ) $\frac{m_h}{e\tau}$

(リ) $\frac{e\tau}{m_h}$

(ヌ) eE

(ル) $\frac{vm_h}{\tau}$

(ヲ) $\frac{e\tau^2}{m_h}E^2$

(ヱ) $\frac{E}{e}$

(カ) $\frac{\tau}{em_h}$

(コ) $\frac{v\tau}{m_h}$

問 7 及び問 8 は選択問題であり、問 7 又は問 8 のどちらかを選んで解答すること。
両方解答すると採点されません。

(選択問題)

問 8 次の文章は、負帰還増幅回路に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図は負帰還増幅回路を表すブロック図である。図は増幅器と減衰器から構成され、増幅器の電圧増幅度は A 倍、減衰器の減衰率は $H(\leq 1)$ 倍である。

出力電圧 v_{out} は増幅器の入力電圧 v_i を用いて $v_{\text{out}} = Av_i$ と表せる。一方、 v_i は

$v_i = v_{\text{in}} - Hv_{\text{out}}$ であるから、負帰還増幅回路全体の電圧増幅度 $\frac{v_{\text{out}}}{v_{\text{in}}}$ は、

$$\frac{v_{\text{out}}}{v_{\text{in}}} = \text{ } \quad (1)$$

となる。ここで $|AH|$ が 1 より十分大きいとすると (1) は (2) に近似できる。このことから負帰還増幅回路は電圧増幅度が (3) 性質を有することが分かる。

次に、増幅器の電圧増幅度は、

$$A = \frac{A_0}{1 + j\frac{f}{f_c}} \dots\dots\dots \text{ } \quad \text{①}$$

で表される周波数特性を有するとする。ここで A_0 と f_c はそれぞれ増幅器の直流における電圧増幅度と遮断周波数であり、ともに正の実数である。負帰還増幅

回路全体の電圧増幅度 $\frac{v_{\text{out}}}{v_{\text{in}}}$ は、①式を (1) の A に代入し、①式と同じ形に整

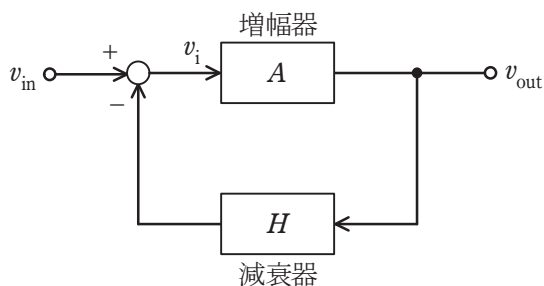
理することにより

$$\frac{v_{\text{out}}}{v_{\text{in}}} = \text{ } \quad (4)$$

となる。(4) より、負帰還増幅回路の直流における電圧増幅度は

$\frac{A_0}{\text{ (5) }}$ となり、遮断周波数は増幅器の遮断周波数 f_c の (5) 倍となるこ

とがわかる。



[問 8 の解答群]

$$(イ) \frac{(1+A_0H)A_0}{1+j\frac{f}{(1+A_0H)f_c}} \quad (ロ) \frac{\frac{A_0}{1+A_0H}}{1+j\frac{f}{(1+A_0H)f_c}} \quad (ハ) \frac{\frac{A_0}{1-A_0H}}{1+j\frac{f}{(1-A_0H)f_c}}$$

$$(ニ) A \quad (ホ) H \quad (ヘ) AH$$

$$(ト) \frac{1}{A} \quad (チ) \frac{1}{H} \quad (リ) \frac{1}{AH}$$

$$(ヌ) 1+A_0H \quad (ル) 1-A_0H \quad (ヲ) \frac{A}{1+AH}$$

(リ) A の変動の影響を受けにくい

(カ) H の変動の影響を受けにくい

(コ) A と H の変動の影響を受けにくい