

東京大学大学院工学系研究科 電気系工学専攻 入試  
平成 20 年 物理・情報 第 6 問

(1)

オペアンプの反転入力端子の電位は仮想接地により  $v_B$  になる。オペアンプの入力インピーダンスは無限大であるから、抵抗  $R_1$  と  $R_2$  に流れる電流は等しく、

$$\frac{v_B - v_A}{R_1} = \frac{v_C - v_B}{R_2}$$
$$\therefore v_C = -\frac{R_2}{R_1}(v_A - v_B) + v_B$$

(2)

$v_B = 0$  より、

$$v_C = -\frac{R_2}{R_1}v_A$$

したがって、端子 A に流れる電流は、

$$i_A = \frac{v_A - v_C}{R_1 + R_2} = \frac{(1 + \frac{R_2}{R_1})v_A}{R_1 + R_2}$$
$$\therefore \frac{v_A}{i_A} = \frac{R_1 + R_2}{(1 + \frac{R_2}{R_1})} = R_1$$

したがって、端子 A から見た入力インピーダンスは  $R_1$  である。

オペアンプの入力インピーダンスは無限大であるから、端子 B に電流は流れない。したがって、端子 B から見た入力インピーダンスは  $\infty$  である。

### オペアンプによる増幅回路

$v_B$  の電位を 0 とすれば、典型的な反転増幅回路である。

$$v_C = -\frac{R_2}{R_1}v_A$$

$v_A$  の電位を 0 とすれば、典型的な非反転増幅回路である。

$$v_C = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)v_B$$

(3)

オペアンプの1段目は非反転増幅回路である。2段目は(1)で得られた式を用いれば求めることができる。

$$v_{out} = -\frac{R_4}{R_3} \left\{ v_2 - \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) v_1 \right\} v_1$$
$$\therefore v_{out} = \left( 1 + \frac{R_4}{R_3} \right) v_2 - \frac{R_4}{R_3} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) v_1$$

別解

1段目のオペアンプの反転入力を仮想接地から  $v_1$ 、1段目のオペアンプの出力端子を  $v_x$ 、2段目のオペアンプの反転入力を仮想接地から  $v_2$  とする。オペアンプの入力インピーダンスは無限大であるから、 $R_1$  と  $R_2$  に流れる電流は等しく、 $I_1$  とおく。同様に、 $R_3$  と  $R_4$  に流れる電流を  $I_2$  とおく。

$$v_1 = R_1 I_1$$
$$v_x - v_1 = R_2 I_1$$
$$v_2 - v_x = R_3 I_2$$
$$v_{out} - v_2 = R_4 I_2$$

以上の4式から  $v_x$ 、 $I_1$ 、 $I_2$  を消去すれば  $v_{out}$  が得られる。

(4)

$v_{out}$  は、

$$v_{out} = \left( 1 + \frac{R_4}{R_3} \right) v_2 - \frac{R_4}{R_3} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) v_1$$
$$= \left( 1 + \frac{R_4}{R_3} \right) \left\{ v_2 - \frac{\frac{R_4}{R_3} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)}{1 + \frac{R_4}{R_3}} v_1 \right\}$$

と変形できる。求める条件は、

$$\frac{\frac{R_4}{R_3} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)}{1 + \frac{R_4}{R_3}} = 1$$
$$\therefore R_2 R_4 = R_1 R_3$$

また、

$$G_D = 1 + \frac{R_4}{R_3}$$

(5)

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$  のとき、 $v_{out}$  は、

$$v_{out} = 2(v_2 - v_1)$$

である。これをグラフにすれば良い。(グラフ略)

(6)

$R_1 = R_3 = R_4 = R$  および  $R_2 = 2R$  のとき、 $v_{out}$  は、

$$v_{out} = 2v_2 - 3v_1$$

である。これをグラフにすれば良い。(グラフ略)

(おまけ)

### 入出力インピーダンス

理想的なオペアンプの入力インピーダンスは  $\infty$ 、出力インピーダンスは  $0$  である。これは何を意味するのか。

オペアンプの入力側は、等価的に  $R_{in}$  という「抵抗」である。出力側は、 $R_{out}$  という「内部抵抗をもつ電圧源」である。

入力電流について、

$$I_{in} = \frac{V_{in}}{R_{in}} = \frac{V_{in}}{\infty}$$

であるから、入力電圧に関わらず、入力側に電流は流れないことを意味する。

出力側については、 $R_{out} = 0$  であるから、理想的な電圧源である。したがって、出力電圧と、出力電流は無関係になる。出力電圧は入力電圧によって決まり、出力電流は出力端子に接続される抵抗等によって決まる。

### 理想電圧源

理想電圧源は、流れる電流値に関わらず、一定の電圧を保持する。理想電流源は、印加される電圧に関わらず、一定の電流を流し続ける。内部抵抗を考えると混乱するので、この性質だけ理解しておく。