

位相補償

位相補償において使用されるオペアンプ回路について説明する。ここでは、2つのタイプの反転増幅回路を取り上げる。以下にそれらの回路構成を示す。

反転増幅回路（タイプ1）

図A-1に示す回路の入出力関係の導出には幾つかの方法がある。ここでは簡単に求めることにする。まず e_m を仮想グランドとみなし

$$i_1 + i_2 = 0$$

$$\therefore i_1 = \frac{e_i}{Z_i}, \quad i_2 = \frac{e_o}{Z_f} \quad (\text{A-1})$$

より

$$e_o = G e_i$$

$$\therefore G = -\frac{Z_f}{Z_i} \quad (\text{A-2})$$

となる。

反転増幅回路（タイプ2）

図A-2に示す回路も同様にして

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

$$\therefore i_1 = \frac{e_i}{Z_1}, \quad i_3 = \frac{e_o}{Z_f} \quad (\text{A-3})$$

$$i_2 = \frac{e_o}{Z_3 + \frac{Z_2 Z_4}{Z_2 + Z_4}} \cdot \frac{Z_2 Z_4}{Z_2 + Z_4} \cdot \frac{1}{Z_2} = \frac{e_o}{Z_r} \quad (\text{A-4})$$

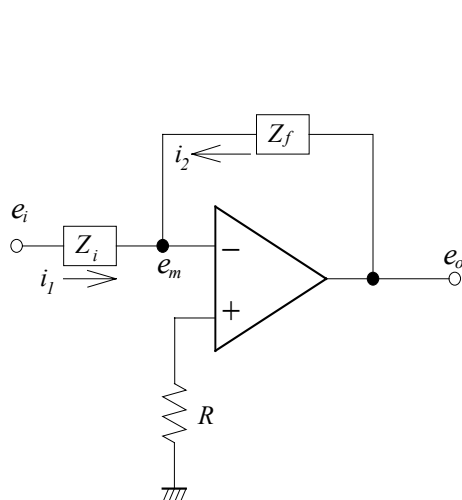
$$\therefore Z_r = Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_4}$$

より

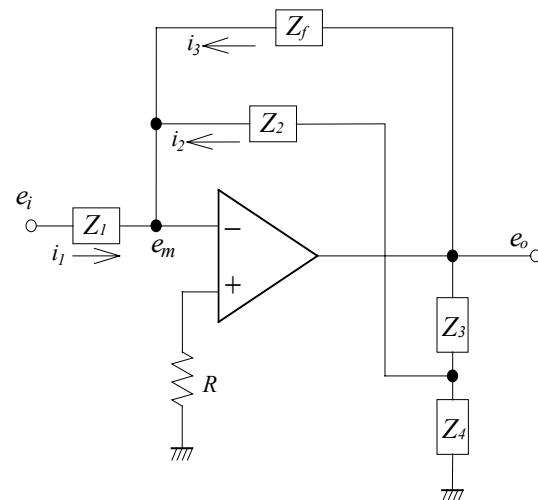
$$e_o = G e_i$$

$$\therefore G = -\frac{Z_r Z_f}{Z_1 (Z_r + Z_f)} \quad (\text{A-5})$$

となる。



図A-1 反転増幅回路（タイプ1）



図A-2 反転増幅回路（タイプ2）

次に、実際の素子を使用した回路伝達関数を求める。まず、タイプ1の回路については以下の図A-3、図A-4のそれぞれについて伝達関数 G を求める。

一次遅れ回路（図A-3）について

図A-1の反転増幅回路（タイプ1）において

$$Z_i = R_i, \quad Z_f = \frac{\frac{R_f}{sC}}{\frac{1}{sC} + R_f} \quad (\text{A-6})$$

とおくと、図A-3に示す回路の伝達関数 G は次式で与えられる。

$$G = -\frac{K_{11}}{1+Ts} \quad (\text{A-7})$$

$\therefore K_{11} = R_f/R_i, \quad T = CR_f$

積分回路（図A-4）について

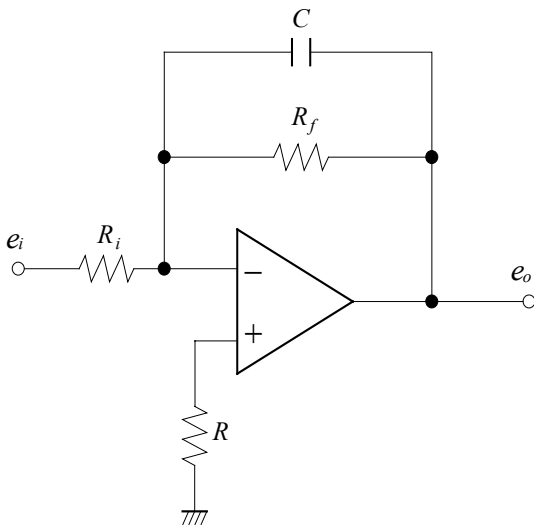
また、同様に

$$Z_i = R_i, \quad Z_f = \frac{1}{sC} + R_f \quad (\text{A-8})$$

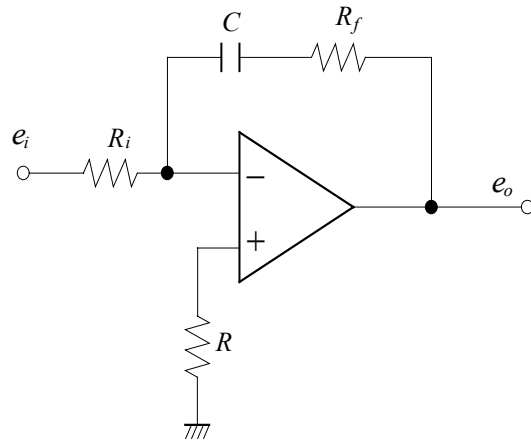
とおくと、図A-4に示す回路の伝達関数 G は次式で与えられる。

$$G = -\frac{K_{11}(1+Ts)}{s} \quad (\text{A-9})$$

$\therefore K_{11} = 1/CR_i, \quad T = CR_f$



図A-3 一次遅れ回路（タイプ1）



図A-4 積分回路（タイプ1）

さらに、タイプ 2 の回路については以下の図 A-5、図 A-6 のそれぞれについて伝達関数 G を求める。

一次遅れ回路 (図 A-5) について

図 A-2 の反転増幅回路 (タイプ 2) において

$$Z_1 = R_1, \quad Z_2 = R_2, \quad Z_3 = R_3, \quad Z_4 = R_4, \quad Z_f = \frac{1}{sC} \quad (\text{A-10})$$

とおくと、図 A-5 に示す回路の伝達関数 G は次式で与えられる。

$$G = -\frac{K_{11}}{1+T_1 s} \quad (\text{A-11})$$

$$\therefore K_{11} = R_f/R_1, \quad T_1 = CR_f, \quad R_f = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_4}$$

遅相補償回路 (図 A-6) について

また、同様に

$$Z_1 = R_1, \quad Z_2 = R_2 + \frac{1}{sC}, \quad Z_3 = R_3, \quad Z_4 = R_4, \quad Z_f = R_f \quad (\text{A-12})$$

とおくと、図 A-6 に示す回路の伝達関数 G は次式で与えられる。

$$G = \frac{K_{11}(1+T_2 s)}{1+T_1 s} \quad (\text{A-13})$$

$$\therefore K_{11} = \frac{R_f}{R_1}, \quad T_1 = C \cdot \frac{(R_2 + R_3 + R_f)R_4 + R_2 R_3}{R_3 + R_4}, \quad T_2 = C \cdot \frac{(R_2 + R_3)R_4 + R_2 R_3}{R_3 + R_4}$$

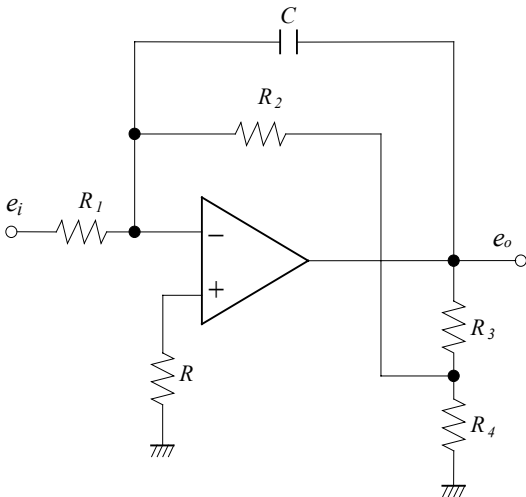


図 A-5 一次遅れ回路 (タイプ 2)

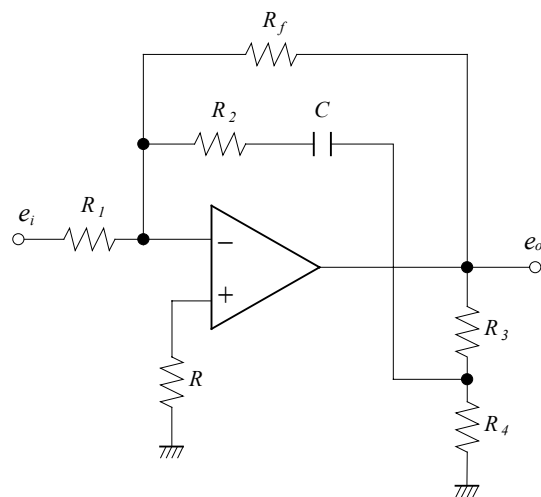


図 A-6 遅相補償回路 (タイプ 2)

進相補償回路

以下に2通りの進相補償回路例を示す。図A-7の回路はゲイン調整と折点が独立に調整できないが、図A-8の回路ではゲイン調整と折点が独立に調整可能である

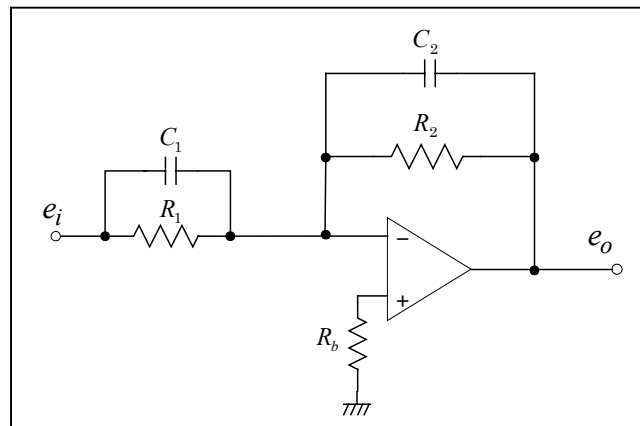
$$Z_i = \frac{R_1}{R_1 + \frac{1}{sC_1}} = \frac{R_1}{1 + sC_1R_1} = \frac{R_1}{1 + sT_1}, \quad Z_f = \frac{R_2}{1 + sC_2R_2} = \frac{R_2}{1 + sT_2} \quad (\text{A-14})$$

ただし、 $T_1 = C_1R_1$, $T_2 = C_2R_2$

ゆえに、

$$G = -\frac{Z_f}{Z_i} = -\frac{\frac{R_2}{1 + sT_2}}{\frac{R_1}{1 + sT_1}} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1 + sT_1}{1 + sT_2} \quad (\text{A-15})$$

が得られる。



図A-7 進相補償回路

つぎに、

$$Z_i = \frac{(r + \frac{1}{sC})R_1}{r + \frac{1}{sC} + R_1} = \frac{(1 + sCr)R_1}{1 + sC(r + R_1)}, \quad Z_f = R_2 \quad (\text{A-16})$$

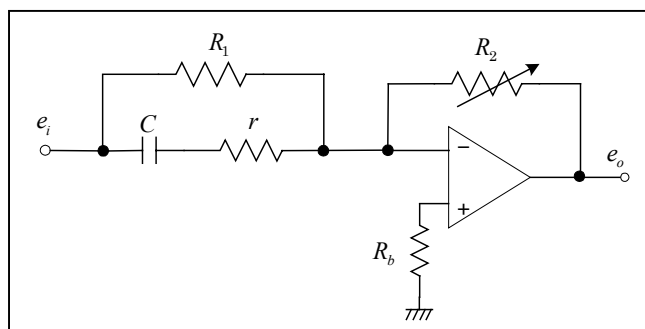
ゆえに、

$$G = -\frac{Z_f}{Z_i} = -\frac{R_2}{\frac{R_1(1 + sCr)}{1 + sC(R_1 + r)}} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1 + sT_1}{1 + sT_2} \quad (\text{A-16})$$

が得られる。

ただし、

$T_1 = C(R_1 + r)$, $T_2 = Cr$



図A-8 進相補償回路