

## 電流帰還型オペアンプによる差動増幅器の帯域幅について

電圧帰還型オペアンプは、アンプの仕上がりゲインと帯域幅の積がほぼ一定となる制限があるので、ゲインを大きくすると帯域幅が狭くなるという欠点がありましたが、これを解消させたものが電流帰還型オペアンプです。

### 回路

電圧帰還型オペアンプと異なり、反転入力側のインピーダンスが低くなっていますが、電圧帰還型オペアンプと同様に、反転増幅器、非反転増幅器、差動増幅器を構成できます。

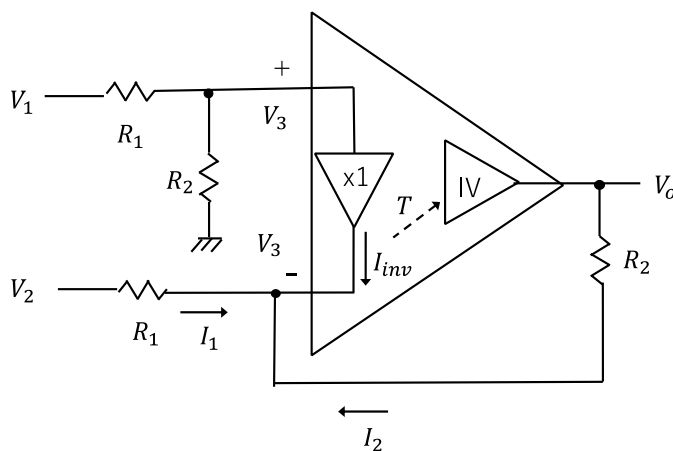


図1.電流帰還オペアンプを用いた差動増幅器の構成

### 解析

ここでは、差動増幅器について検討をします。

図1より、以下の回路方程式が得られます。

$$V_3 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 \quad \dots\dots(1)$$

$$I_{inv} = -I_1 - I_2 \quad \dots\dots(2)$$

$$I_1 = \frac{V_2 - V_3}{R_1} \quad \dots\dots(3)$$

$$I_2 = \frac{V_0 - V_3}{R_2} \quad \dots\dots(4)$$

$$V_0 = T \cdot I_{inv} \quad \dots\dots(5)$$

なお、 $T$ は出力電圧 $V_0$ と非反転入力から反転入力へ流れる電流 $I_{inv}$ の比であり、トランスインピーダンス・ゲインと呼ばれています。

(1)~(4)式より

$$I_{inv} = -\frac{V_2}{R_1} - \frac{V_o}{R_2} + \frac{V_1}{R_1} \quad \dots\dots(6)$$

(5), (6)式より

$$V_o = \left( \frac{V_1}{R_1} - \frac{V_o - V_1}{R_2} \right) \cdot T$$

よって

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + \frac{R_2}{T}} (V_1 - V_2)$$

ゲイン(=G)は、

$$G = \frac{V_o}{V_1 - V_2} = \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + \frac{R_2}{T}} \quad \dots\dots(7)$$

$T$ が十分に大きい場合(手持ちの古い CLC401 では、 $A \doteq 600000$  なので十分に大きい)は、以下のように電圧帰還型オペアンプによる非反転増幅器と同じです。

$$G = \frac{R_2}{R_1} \quad \dots\dots(8)$$

ここで、帯域幅について考えます。

通常は、オープンループゲイン特性のグラフを用いることがほとんどですが、ここでは計算で求めてみます。

オープンループゲイン特性は、一般的に図2のように表現されます。

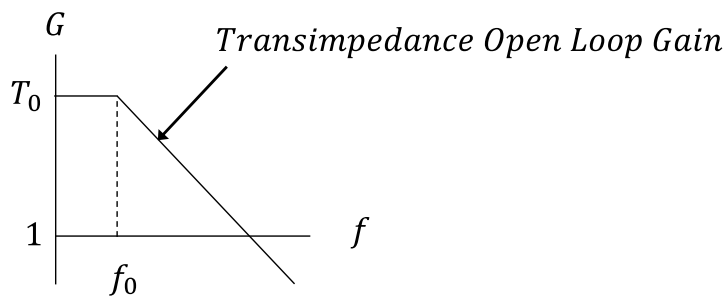


図2. オペアンプのオープンループゲイン特性

図2より、直流ゲインを $T_0$ 、3dB低下する周波数を $f_0$ 、横軸の周波数を $f$ として、オープンループゲイン特性は(9)式のように表せます。

$$T = \frac{T_0}{1+j\frac{f}{f_0}} \dots\dots(9)$$

(9)式を(7)式に代入すると

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1+j\frac{R_2 \cdot f}{T_0}} \dots\dots(10)$$

たとえば、手持ちの CLC401 では、 $T_0 \cong 600000$ なので、 $R_2$ を十分に小さくできるとする

$$T_0 \gg R_2$$

この場合、(10)式は、(11)式のように近似できます。

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1+j\frac{R_2 \cdot f}{T_0}} \dots\dots(11)$$

(11)式において、3dB 帯域幅を $f_{3dB}$ とする( $f = f_{3dB}$ )と

$$1 = \frac{R_2}{T_0} \cdot \frac{f_{3dB}}{f_0}$$

よって

$$f_{3dB} = f_0 \cdot \frac{T_0}{R_2} \dots\dots(12)$$

(12)式から **3dB 帯域幅は $R_2$ で決まる**ことがわかります。

(なお、 $f_0$ ,  $T_0$ は IC の種類で決まる値です。)

CLC401 の場合で、データシートから $R_2 = 1500\Omega$ ,  $T_0 = 600000$ ,  $f_0 = 300kHz$ とすると、  
 $f_{3dB} = 300kHz \cdot \frac{600000}{1500\Omega} = 120000kHz = 120MHz$

データシートでは、 $G=10$  で 150MHz、 $G=20$  で 100MHz の帯域幅を有しているので、概ね合っていると考えるのも良いのかなと思います。

## 弱点

弱点は $R_2$ をあまり大きくできないことですが、多くの応用においてはあまり気にならないと思います。