

## 電流帰還型オペアンプによる非反転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。

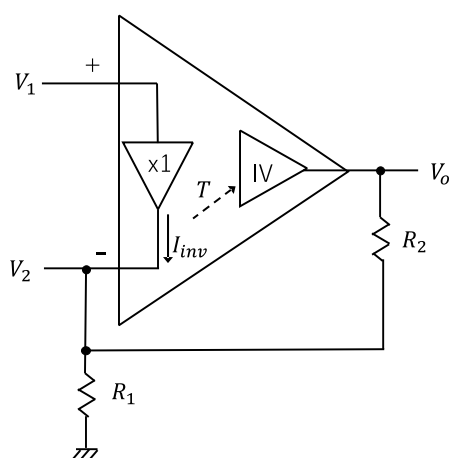


図1.電流帰還オペアンプを用いた非反転増幅器の構成

### 解析

ここでは、非反転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。

$$I_{inv} = I_1 - I_2 \quad \dots\dots(1)$$

$$I_2 = I_1 \quad \dots\dots(2)$$

$$V_o = T \cdot I_{inv} \quad \dots\dots(3)$$

$$V_o - V_2 = R_2 \cdot I_2 \quad \dots\dots(4)$$

$$V_2 = R_1 \cdot I_1 \quad \dots\dots(5)$$

なお、 $T$  は出力電圧  $V_o$  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), (3)式より

$$V_o = (I_1 - I_2) \cdot T \quad \dots\dots(6)$$

(2), (4), (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

$$V_o \left( 1 + \frac{T}{R_2} \right) = T \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) V_1$$

ゲイン(=G)は、

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

$T$  が十分に大きい場合（手持ちの古い CLC401 では、 $A \approx 600000$  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。

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad \dots\dots(8)$$

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。

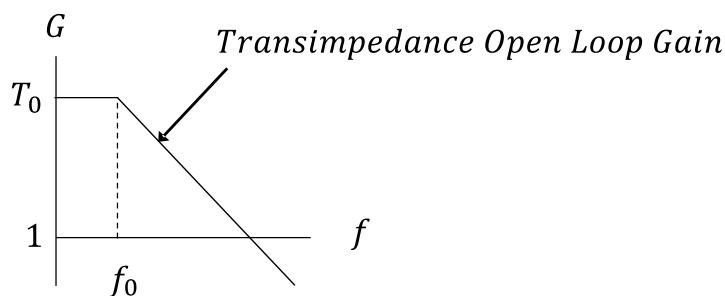


図2. オペアンプのオープンループゲイン特性

直流ゲインを $T_0$ 、3dB低下する周波数を $f_0$ 、周波数を $f$ として、オープンループゲイン特性は(8)式のように表せます。

$$T = \frac{T_0}{1+j\frac{f}{f_0}} \dots\dots(8)$$

(8)式を(7)式に代入すると

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_2(1+j\frac{f}{f_0})}{T_0}} \dots\dots(9)$$

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、(9)式は、(10)式のように近似できます。

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{1+j\frac{R_2 f}{T_0 f_0}} \dots\dots(10)$$

(10)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

$$f_{3dB} = f_0 \cdot \frac{T_0}{R_2} \dots\dots(11)$$

(11)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 の型式で決まる値です。)

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。

結果として、反転増幅器の入力インピーダンスを大きくできないことになりますが、広帯域増幅器では比較的低い入出力インピーダンスの場合が多いので、あまり問題にならない

いと思います。

なお、メーカーは推奨 $R_2$ でオペアンプの内部回路を設計しているため、 $R_2$ を推奨値から大きくずらすと、想定した性能が得られなかったり、不安定になる場合もあるようなのでご注意ください。

また、反転入力端子のバイアス電流が比較的大きいのも弱点と言えますが、これら弱点が問題にならない応用はあると思いますし、また使い方の工夫で対応できることもあると思います。

### 補足

30年位前に、帯域圧縮されたハイビジョンのアナログビデオ信号 (DC～約8MHz) の増幅用にコムリニア社のCL103を使用した経験があります。24ピンセラミックパッケージのハイブリッドICで、価格も¥3万円位と非常に高価だった記憶がありますが、発振等の不安定な現象は見られず、良好な広帯域特性を容易に得られて感動した記憶があります。

その後、ようやく低価格のモノリシックICのEL2020が発売されたので、便利に利用させていただきましたが、以降は使う機会に恵まれず今日に至っております。

最近、種類も豊富にあることがわかったので、またトライしてみようと思います。