

## 電圧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

今回は、一般的なオペアンプについて検討してみます。電流帰還型オペアンプの登場によって、電圧帰還型オペアンプとも呼ばれます。

昔からあるデバイスですが、高速版、低雑音、位相補償不要、入出力が rail-to-rail 等の改良品が次々と出現しているので、多くの用途において便利に使えます。

### 回路構成

ハイ・インピーダンスの非反転入力と反転入力があり、出力は2つの入力の差電圧を増幅(ゲイン:A)して出力します。反転増幅器、非反転増幅器、差動増幅器を構成できますが、ここでは図1の非反転増幅器について検討します。

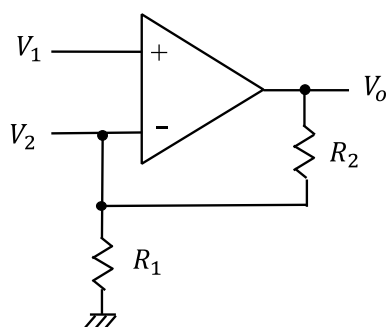


図1. 非反転増幅器

### 解析

ここでは、上記の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。

$$V_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_0 \quad \dots\dots(1)$$

$$V_1 = V_2 \quad \dots\dots(2)$$

$$V_0 = A \cdot (V_1 - V_2) \quad \dots\dots(3)$$

ここで、 $A$ はオープンループ・ゲインです。

(1), (2), (3)式より、非反転増幅器のゲイン (=G) は、

$$G = \frac{V_0}{V_1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{A} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)} \quad \dots\dots(4)$$

通常、 $A$ が十分に大きいとして、(5)式のように近似されます。

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad \dots\dots(5)$$

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図2のように表せます。

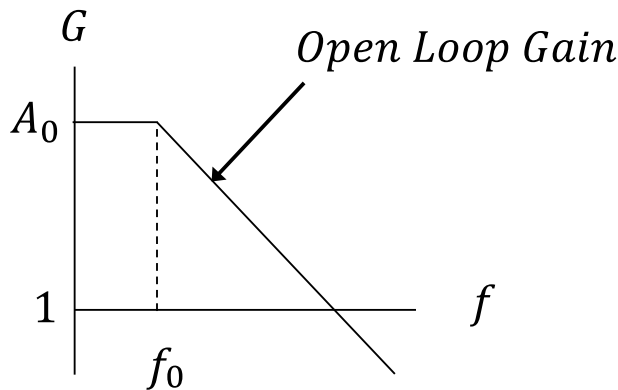


図2. 電圧帰還型オペアンプのオープンループゲイン特性

オープンループの直流ゲインを $A_0$ 、3dB低下する周波数を $f_0$ とすると、図2の特性はAを周波数 $f$ の関数として、(6)式で表すことができます。

$$A = \frac{A_0}{1 + j\frac{f}{f_0}} \quad \dots\dots(6)$$

(6)式を(5)式に代入すると

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{(1 + j\frac{f}{f_0}) \cdot (1 + \frac{R_2}{R_1})}{A_0}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{A_0} + j\frac{f}{f_0} \cdot (1 + \frac{R_2}{R_1})} \quad \dots\dots(7)$$

一般的な条件として、 $A_0 \gg \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$ なので、(7)式は(8)式のように近似できます。

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{1 + j\frac{1}{A_0} \cdot \frac{f}{f_0} \cdot (1 + \frac{R_2}{R_1})} \quad \dots\dots(8)$$

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

$$1 = \frac{1}{A_0} \cdot \frac{f_{3dB}}{f_0} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

従って

$$GB \text{ 積} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot f_{3dB} = f_0 \cdot A_0 \cdots \cdots (9)$$

(9)式の右辺の $f_0$ ,  $A_0$ はICの型式で決まる固定値なので一定と考えることができますので、結果として**GB 積が一定**となります。

### 弱点

電圧帰還型オペアンプによる非反転増幅器はGB 積が一定なので、ゲインを大きくすると帯域がゲインに反比例して低下します。

したがって、広帯域で大きなゲインを実現する場合は、多段構成にする必要があります。段数を少なくするためには、GB 積の大きいオペアンプの選択が望ましいと言えます。