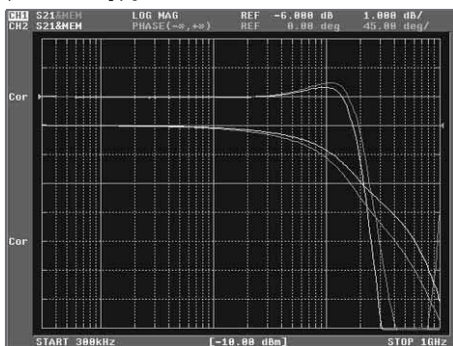


ICレビュー 実験室



5 高速 OP アンプの使い方の基本

川田 章弘
Akihiro Kawata

今回から、主役は高速OPアンプへと移ります。高速OPアンプを一言で表すなら、以下に示すような**AC特性に関する性能を理想OPアンプに近づけたもの**と言えます。

- ユニティ・ゲイン周波数が高い
- スルー・レートが高い

今回は、この高速OPアンプの性能を引き出す使い方を紹介します。

高速 OP アンプには 2 種類ある

■ 電圧帰還型と電流帰還型

高速OPアンプには、大別して電圧帰還型と電流帰還型が存在します。どちらのOPアンプも負帰還を掛けて使うことに変わりはありません。

これらの違いは、**負帰還される量が電圧なのか電流なのか**です。電流帰還型は、フィードバック抵抗の最適値が決まっていることが多く、反転増幅器を構成しづらいので、基本的には非反転増幅器として使用します。

■ 電圧帰還型の高速 OP アンプ

電圧帰還型の高速OPアンプとしては、ナショナルセミコンダクター社のLM636Xシリーズが代表的でした。しかし、LM636Xはオープン・ループ・ゲインが小さく、ひずみ率の点から、最近の高速OPアンプに対して見劣りするようになりました。現在、ナショナルセミコンダクター社からは高速OPアンプLMHシリーズがリリースされています。

● SiGeプロセスを使ったOPアンプも登場

最近では、SiGeプロセスを使った電圧帰還型高速OPアンプTHS4302(テキサス・インスツルメンツ)も登場してきています。従来、GHz帯の高周波デバイスを製造するプロセスとしては、GaAsなどの化合物半導体プロセスが一般的でした。化合物とSiではプロ

セスがまったく異なり、Siのプロセスしかもっていない会社は設備投資をしないと化合物半導体を作れませんでした。

しかしSiGeデバイスは、基本的にSiと同じプロセスで製造できるので、これからはいろいろな会社がSiGeデバイスを作り始めると考えられます。ただし、高周波性能の限界(f_T)と耐電圧(B_{VCEO})との間には、**ジョンソン・リミット**(f_T と B_{VCEO} の積が一定)が存在するため、両者はトレード・オフの関係にあります。SiGeデバイスの耐電圧が低いのは、このジョンソン・リミットが関係しています。

● 電圧帰還型 OP アンプは帰還量を少なくすると帯域が狭くなる

電圧帰還型OPアンプは、帰還量 β を小さくすると周波数帯域が狭くなります。このようすを図5-1に示します。

1ポール補償されたOPアンプのゲイン-周波数特性のスロープ(減衰傾度)は -20 dB/dec. (-6 dB/oct.)で、1次CR積分回路と同じです。つまり、**1次遅れ**ということです。これを元に、オープン・ループ特性でのポールの位置 f_{open} と、ゲインが1となる周波数 f_T の関係を求めると、**ゲイン-バンド幅積** $f_{GBW} = f_T$ を導くことができます。

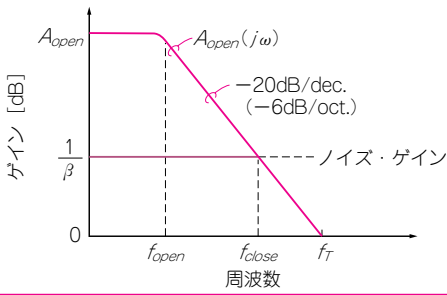
同じように、クローズド・ループ特性でのポールの位置 f_{close} と f_T の関係を求めると、 **f_{close} が β に関係すること**を導き出せます。つまり**電圧帰還型OPアンプの周波数特性の上限は、ノイズ・ゲイン($1/\beta$)によって決まります**。

このことから、**電圧帰還型OPアンプでは、クローズド・ループ・ゲインと周波数帯域との間にトレード・オフの関係があります**。

■ 電流帰還型の高速 OP アンプ

● 電流帰還型 OP アンプの周波数帯域はクローズド・ループ・ゲインに関係しない

電流帰還型OPアンプは、クローズド・ループ・ゲ



十分低い周波数でのオープン・ループ・ゲインを A_{open} とする。高域での減衰率は -20dB/dec. なので、1次遅れ(1次CR回路)と考えることができ、

$$A_{open}(j\omega) = \frac{A_{open}}{1+j\omega CR}$$

が成立する。

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{CR} \quad \leftarrow \text{OPアンプによって決まる定数}$$

なので、

$$A_{open}(j\omega) = \frac{A_{open}}{1+j\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)}$$

と表され、

$$|A_{open}(j\omega)| = \frac{A_{open}}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}$$

$\omega = \omega_T$ のとき $|A_{open}(j\omega)| = 1$ なので、

$$\left(\frac{\omega_T}{\omega_0}\right)^2 = A_{open}^2 - 1$$

から、

$$f_T = f_0 \sqrt{A_{open}^2 - 1} \approx f_0 A_{open}$$

となる。1ポール補償されたOPアンプでは、 f_T は GBW (ゲイン・バンド幅積)と一致する。一方、負帰還(β)を施したアンプのノイズ・ゲインは $\frac{1}{\beta}$ である。

オープン・ループ・ゲインの場合と同様に1次遅れと考えると、

$$f_T = f_{close} \frac{1}{\beta}$$

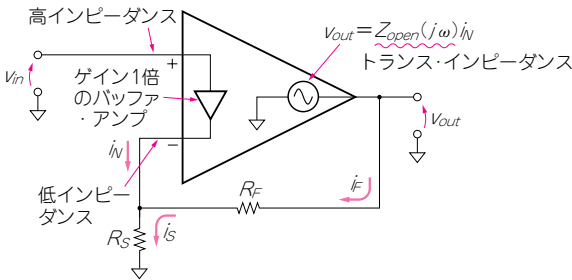
ただし、 f_{close} : クローズド・ループ・ゲインのしゃ断周波数が成り立つ。したがって、

$$f_{close} = f_T \beta$$

となる。

f_T を一定とすると、 β によってクローズド・ループ・ゲインのしゃ断周波数 f_{close} は変化することがわかる。

図5-1 電圧帰還型OPアンプの帰還量-周波数帯域の関係
帰還量 β によってしゃ断周波数が変化する



$$i_s = \frac{V_{in}}{R_S}$$

$$i_f = \frac{V_{out} - V_{in}}{R_F}$$

$$i_N = i_s - i_f = \frac{V_{in}}{R_S} - \frac{V_{out} - V_{in}}{R_F} = \frac{V_{in}}{R_S // R_F} - \frac{V_{out}}{R_F}$$

が成り立つ。 $V_{out} = Z_{open}(j\omega) i_N$ から、

$$i_N = \frac{V_{out}}{Z_{open}(j\omega)}$$

なので、

$$\frac{V_{out}}{Z_{open}(j\omega)} = \frac{V_{in}}{R_S // R_F} - \frac{V_{out}}{R_F}$$

が成り立つ。

したがって、

$$G(j\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{(R_S // R_F)} \frac{1}{\left(\frac{1}{Z_{open}(j\omega)} + \frac{1}{R_F}\right)}$$

$$= \left(1 + \frac{R_F}{R_S}\right) \frac{1}{1 + \frac{Z_{open}(j\omega)}{R_F}}$$

$\frac{Z_{open}(j\omega)}{R_F} \gg 1$ であれば、

$$G = 1 + \frac{R_F}{R_S} \quad \leftarrow \text{電圧帰還OPアンプによる非反転増幅器と同じ}$$

が得られる。電圧帰還型OPアンプとの対応を考えると、

$$A_{open}(j\omega) \beta \equiv \frac{Z_{open}(j\omega)}{R_F}$$

ただし、 $A_{open}(j\omega)$: 電圧帰還型OPアンプのオープン・ループ・ゲイン、 β : 電圧帰還型OPアンプの帰還率となる。

$A_{open}(j\omega)$ は $Z_{open}(j\omega)$ に、 β は $\frac{1}{R_F}$ に対応する。

図5-2 電流帰還型OPアンプを使った非反転増幅器の動作

