

教室[10] どんなOPアンプ回路も「信号源と抵抗」に丸めることができる

# 回路図読解の神ツール④「バーチャル・ショート」

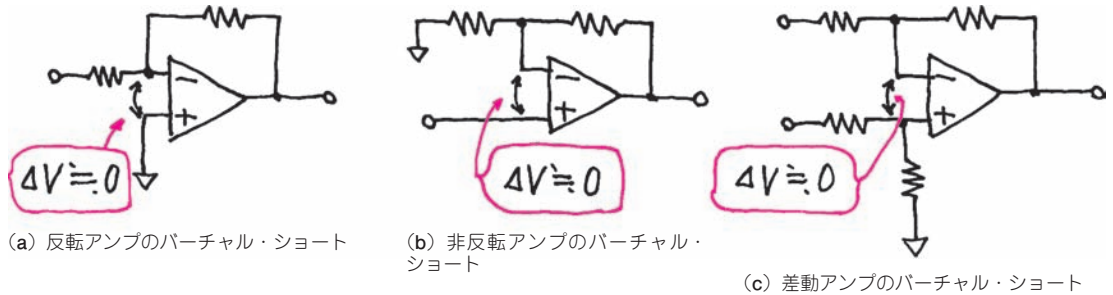


図1 OPアンプ回路を読み解くときは、OPアンプIC(三角形の記号)をなにもとし、非反転端子(+入力端子)と反転端子(-入力端子)の電位差が常に0Vであると考えるといい

● OPアンプの+端子と-端子の電位差は0Vと見ていい

OPアンプ回路を読み解くテクニックに、図1に示すOPアンプの+端子と-端子の電位が等しいとする「バーチャル・ショート」があります。  
バーチャル・ショート成立には、ループ・ゲイン( $A_o\beta$ )が十分に大きいという前提があります。十分に大きいとは、 $A_o\beta \gg 1$ という条件です。  
なぜ、 $A_o\beta \gg 1$ であればバーチャル・ショートと考えて良いのかを手計算し、シミュレーションで確認します。

## ■ 非反転アンプのバーチャル・ショート成立の証明

図2に示すのは、基本的な負帰還アンプの概念図です。OPアンプ回路でいうならば、非反転アンプです。  
抵抗を含めたアンプではなく、OPアンプ自体が増幅している信号は何かを考えると、OPアンプは+端子と-端子間の差動信号をオープン・ループ・ゲイン倍に増幅する差動アンプです。したがって、

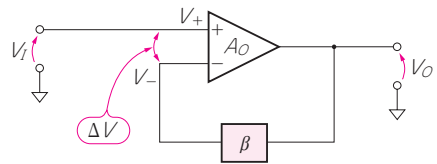
$$(V_+ - V_-)A_o = V_o$$

が成立します。ここで、 $(V_+ - V_-)$ を $\Delta V$ とすると、  
 $\Delta V A_o = V_o \dots \dots \dots (1)$   
 となります。ここで、

$$V_o = \frac{A_o}{1 + A_o\beta} V_I \dots \dots \dots (2)$$

なので、式(2)を式(1)に代入して整理すると次のようになります。

$$\Delta V = \frac{1}{1 + A_o\beta} V_I$$



$$\Delta V = V_+ - V_-$$

ここで、  
 $\Delta V \times A_o = V_o$   
 $V_o = \frac{A_o}{1 + A_o\beta} V_I$   
 から、

$$\Delta V = \frac{A_o}{1 + A_o\beta} V_I$$

よって、  
 $\Delta V = \frac{1}{1 + A_o\beta} V_I$

図2 非反転アンプのバーチャル・ショート計算式

負帰還アンプの入力電圧 $V_I$ はOPアンプに入力される差動電圧で、 $1/(1 + A_o\beta)$ 倍に小さくなります。  
 $A_o\beta \gg 1$ のとき、 $\Delta V$ はとても小さくなるため、 $\Delta V \approx 0$ と近似できます。これがバーチャル・ショートです。

## ■ 反転アンプのバーチャル・ショート成立の証明

● 計算式で証明  
反転アンプで、バーチャル・ショートはどのように成立しているのかを考えてみます。

反転アンプを非反転アンプで表現すると、図3のようになります。これは、入力振幅が $(1 - \beta)$ 倍に分圧されただけで、非反転アンプと同じように考えることができます。

入力振幅が $(1 - \beta)V_I$ になることを考慮すると、反転アンプの+端子と-端子間の電位差 $\Delta V$ は次のとおりです。

【セミナー案内】 実習・論理回路の設計からFPGAの動作まで [デジタル回路設計入門シリーズ1] —— トレーニング・ボード(DE10-Lite)を使い、回路設計の基本を習得  
 【講師】 萬代 慶昭氏, 7/27(木)~7/28(金) 37,000円(税込み) <http://seminar.cqpub.co.jp/>