

オペアンプの基礎

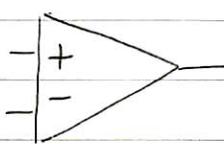


図1 回路図記号

オペアンプの回路図記号を図1に示す。オペアンプの3つの端子は、非反転入力、反転入力、出力の端子である(図2)。

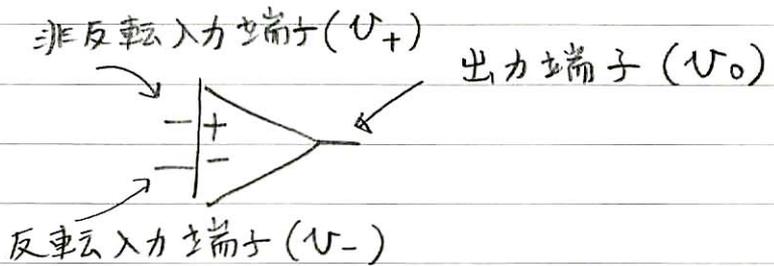


図2. オペアンプの各端子の名称

ここで各端子の電圧を V_+ , V_- , V_0 とする。オペアンプは2つの入力端子の電圧差を増幅して出力する。つまり、

$$V_0 = A(V_+ - V_-) \quad \dots \text{①}$$

である。理想的なオペアンプでは、入力端子には電流が流れる。Aは ∞ である。すなわち

$$V_+ > V_- \text{ のとき } V_0 \rightarrow \infty$$

$$V_+ = V_- \text{ のとき } V_0 = 0$$

$$V_+ < V_- \text{ のとき } V_0 \rightarrow -\infty$$

となる。実際のオペアンプでは、出力電圧範囲に制限があるので

$$V_+ \neq V_- \text{ のとき } V_0 = A(V_+ - V_-)$$

$$V_+ = V_- \text{ のとき } V_0 = 0$$

$$V_+ > V_- \text{ のとき } V_0 = (\text{出力電圧範囲の上限})$$

$$V_+ < V_- \text{ のとき } V_0 = (\text{ " の下限})$$

となる。

コンパレータとしてオペアンプを使う

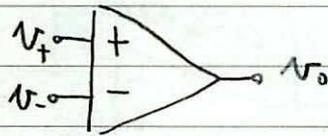


図3. コンパレータとして使う

図3のように、電圧が v_+ と v_- の信号を、それぞれ非反転入力と反転入力に入力すると v_0 は、

$v_+ > v_-$ のとき、

$$v_0 = (\text{出力電圧範囲の上限})$$

$v_+ = v_-$ のとき

$$v_0 = 0$$

$v_+ < v_-$ のとき

$$v_0 = (\text{出力電圧範囲の下限})$$

$v_+ \neq v_-$ のとき

$$v_0 = A(v_+ - v_-)$$

となる。 $v_+ \neq v_-$ であることがほとんどの場合において、図3の回路は、2つの信号のどちらが高いかを出力する比較器として働く。このとき、 v_+ 、 v_- は、仮想接地はおきない。またオペアンプを、比較器として使うことは、少く、比較にはコンパレータ(比較器)として市販されているICを使うことが多い。

反転増幅回路

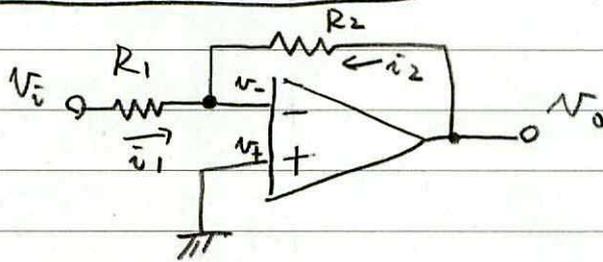


図4. 反転増幅回路。上側に反転入力を描いていることに注意する。

オペアンプは、一般に出力を入力に、抵抗やコンデンサなどで通して、再び帰環回路に用いられる。その代表例が、反転増幅回路(図4)である。

反転増幅回路には2つの抵抗 R_1, R_2 (抵抗値も R_1, R_2 で表す)があり、 R_2 によって出力から反転入力に信号が戻っている。このとき、

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i$$

が成り立ち、出力電圧は、入力電圧を $-R_2/R_1$ 倍したものである。また、

$$V_- \doteq V_+ = 0$$

となる。 V_- が V_+ と同じ等しくなって、接地電圧と同じになることを仮想接地と呼ぶ。 $V_- \doteq V_+$ であることから virtual short (仮想短絡)とも呼ぶ。仮想接地が成り立つには、なんらかの帰環が必要であることに注意する。

反転増幅回路の動作

図4のように、回路の各部の電流と電圧の記号を用いる。まず、オペアンプであるので、

$$v_o = A(v_+ - v_-) \quad \dots (1)$$

が成り立つ。次に理想のオペアンプでは、入力端子に電流が流れないのでキルヒホッフの法則により、

$$i_1 + i_2 = 0 \quad \dots (2)$$

である。また、

$$v_- = v_i - R_1 i_1 \quad \dots (3)$$

$$v_- = v_o - R_2 i_2 \quad \dots (4)$$

が成り立つ。式(2), (4)より

$$v_- = v_o + R_2 i_1 \quad \dots (4')$$

式(3), (4')より (3) $\times R_2$ + (4') $\times R_1$ をして

$$(R_1 + R_2) v_- = R_2 v_i + R_1 v_o$$

$$\therefore v_- = \frac{R_2 v_i + R_1 v_o}{R_1 + R_2} \quad \dots (5)$$

(5)と $v_+ = 0$ を(1)に代入して

$$v_o = A \left(0 - \frac{R_2 v_i + R_1 v_o}{R_1 + R_2} \right)$$

v_o について整理すると、

$$\frac{R_1 + R_2 + AR_1}{R_1 + R_2} v_o = - \frac{AR_2}{R_1 + R_2} v_i$$

$$\therefore v_o = - \frac{R_2}{\left(\frac{R_1 + R_2}{A} \right) + R_1} v_i$$

ここで $A \rightarrow \infty$ のとき $v_o \rightarrow - \frac{R_2}{R_1} v_i$

となる。

また (3)-(4)より

$$0 = v_i - v_o - (R_1 + R_2) i_1$$

$$\therefore i_1 = \frac{1}{R_1 + R_2} (v_i - v_o)$$

$$v_o = -\frac{R_2}{R_1} v_i \text{ のとき}$$

$$i_1 = \frac{1}{R_1 + R_2} \left\{ 1 - \left(-\frac{R_2}{R_1} \right) \right\} v_i$$

$$= \frac{1}{R_1} v_i$$

(3)に代入すると $v_o = v_i - R_1 \cdot \frac{1}{R_1} v_i = 0$ //

したがって 仮想接地が成り立つ。他の帰環回路も
上のよう説明できる。

実際のオペアンプでは、

1) (裸の) 増幅率 A が、高い周波数で低下すること、

2) 入力端子にオフセット電圧があること、

3) 入力端子にも電流が流れること、

4) v_o には出力できる範囲がある (電源電圧に依存)
こと、

5) 抵抗値には誤差があること、

有ことに注意する。