

オペアンプと増幅原理

工学部 機械知能工学科

熊谷 正朗

kumagai@mail.tohoku-gakuin.ac.jp

東北学院大学工学部
ロボット開発工学研究室 RDE

今回の到達目標

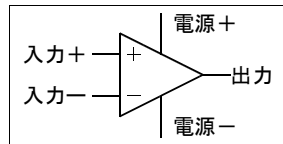
○オペアンプによる増幅回路

- ◇オペアンプの特徴を説明できる。
 - ・無限大の(非常に大きな)増幅率
 - ・入力インピーダンスの高さ
- ◇反転増幅回路の動作原理を説明できる。
 - ・抵抗による増幅率の設定
 - ・ネガティブフィードバック
- ◇仮想短絡、仮想接地を説明できる。
 - ・オペアンプ回路理解のための考え方

オペアンプ

○差を非常に大きく増幅する部品

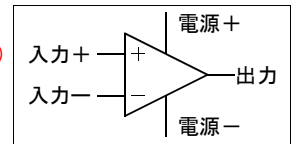
- ◇オペアンプ (IC:集積回路、半導体)
 - ・Operational Amplifier (Op(e)Amp)
 - ・演算増幅器
- ◇端子
 - ・入力: +と-
 - ・出力
 - ・電源: +と- (※高い方と低い方)
 - ・電圧: $V_+/V_{in+}/V_P$, $V_-/V_{in-}/V_N$, V_o/V_{out}



オペアンプ

○差を非常に大きく増幅する部品

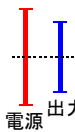
- ◇特性
 - ・ $V_{out} = A(V_+ - V_-)$
 - A: 電圧増幅度
 - 非常に大きい
 - ※1000~100万倍など
 - ※2入力の差をA倍に増幅する、の意味
 - ・入力端子には(ほぼ)電流が流れない
 - ※多くの場合は無視できる



オペアンプ

○理想オペアンプと実在のオペアンプ

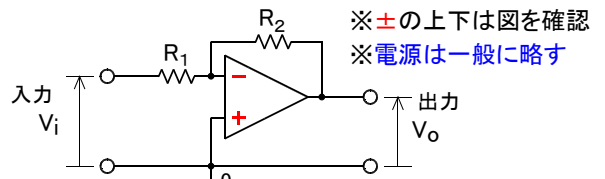
- ◇増幅度 $V_{out} = A(V_+ - V_-)$
 - ・理想: $A = \infty$ 実在: Aは大きい(10^6 等)
- ◇入力
 - ・理想: 入力インピーダンス ∞ : 全く流れない
 - 実在: わずかに流れる ($G\Omega \sim$, nA, pA)
- ◇出力
 - ・理想: 何Vでも出せる 実在: 電源の内側
 - ・理想: 何Aでも出せる 実在: 2.30mA程度等



反転増幅回路

○増幅回路の基礎 & 代表格

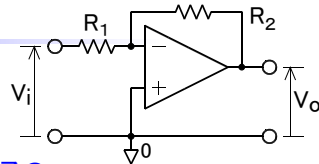
- ◇特性
 - ・ $V_o = -(R_2/R_1) V_i$
 - ・入力インピーダンス: R_1



反転増幅回路

○動作の解析

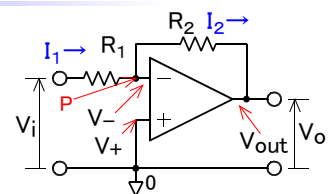
- ◇基本方針
 - ・2本の入力端子の電圧を求める
 - ・オペアンプの式: $V_o = V_{out} = A(V_+ - V_-)$ を当てはめる
 - ・Aを ∞ にして(Limして)、式を整理する
- ◇解析方針 その2
 - ・+と-の端子間電圧=0として解析(後述)



反転増幅回路

○解析の前準備

- ◇定数確認
 - ・抵抗値
 - ・固定の電圧
- ◇変数設定
 - ・配線(接続点ごと)の電圧を示す変数 $\rightarrow V_i, V_o, V_{out}, V_+, V_-$
 - ・配線に電流変数 $\rightarrow I_1, I_2$
 - ・必要なら、接続点に名前 $\rightarrow P$



反転増幅回路

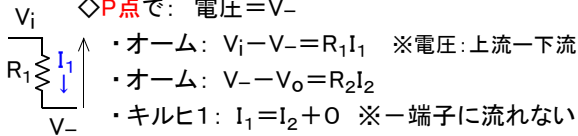
○動作の解析

◇入力端子電圧

- $V_+ = 0$
- $V_- = ?$

V_- と V_o を R_1 と R_2 で分圧したような感じ

◇P点で: 電圧 $=V_-$



- オーム: $V_i - V_- = R_1 I_1$ ※電圧: 上流一下流
- オーム: $V_- - V_o = R_2 I_2$
- キルヒ1: $I_1 = I_2 + 0$ ※一端子に流れない

反転増幅回路

○動作の解析

◇まとめて計算

- $(V_i - V_-) / R_1 = (V_- - V_o) / R_2 \rightarrow \times R_1 R_2$
- $(V_i - V_-) R_2 = (V_- - V_o) R_1 \rightarrow$ 移項、左右入替
- $V_- (R_1 + R_2) = V_i R_2 + V_o R_1$
- $V_- = (V_i R_2 + V_o R_1) / (R_1 + R_2)$ ※汎用分圧

◇オペアンプの式 $V_o = A(V_+ - V_-)$ に代入

- $V_o = -A(V_i R_2 + V_o R_1) / (R_1 + R_2)$

反転増幅回路

○動作の解析

◇ V_o について解く

- $(R_1 + R_2) V_o = -A(V_i R_2 + V_o R_1)$
- $(R_1 + R_2 + A R_1) V_o = -A R_2 V_i$ 両辺Aで割
- $\{(R_1 + R_2) / A + R_1\} V_o = -R_2 V_i$
- $V_o = \frac{-R_2}{(R_1 + R_2) / A + R_1} V_i$: 解いた式

◇電圧増幅度Aを ∞ とすると $(1/A) \rightarrow 0$ なので

- $V_o = -(R_2 / R_1) V_i$ 完

反転増幅回路

○負帰還(NFB)

※ネガティブ
フィードバック

◇出力から、出力を下げる側に電圧が戻る: R_2

◇もし、何かの理由で出力電圧が上がると:

- 引っ張られて一端子の電圧が上がる
- オペアンプ: $V_{out} = A(V_+ - V_-)$ によって、
出力電圧 V_{out} が下がる \rightarrow 上がった分補正
- 出力先の影響を受けにくく: 出力インピ低

仮想短絡・仮想接地

○入力端子の電圧

◇負帰還型の
オペアンプ回路において

- 出力に無難な電圧 V_o が出ている
 \rightarrow 入力差 $(V_+ - V_-)$ は非常に小さいはず
※ $(V_+ - V_-) = V_o / A \rightarrow 0$
- +-の2入力と同じ電圧
= ショートしている(直結)と同等
 \rightarrow バーチャルショート: 仮想短絡

仮想短絡・仮想接地

○入力端子の電圧

- ◇オペアンプ回路において 「バーチャル」
= 事実上の
- +-の2入力は同じ電圧
 \rightarrow バーチャルショート: 仮想短絡
- 特に、一方(+)が0[V](GND)につないである
 \rightarrow バーチャルグラウンド: 仮想接地

◇オペアンプ回路の解析

- 仮想短絡、仮想接地を想定すると簡単
- 既存の回路(負帰還型)の多くに成り立つ

仮想短絡・仮想接地

○反転増幅回路

◇あらためて

- 仮想接地
- P点の電圧は0[V]
- 抵抗 R_1 には電圧 V_i がかかっているから、
電流 $I = V_i / R_1$ が流れる。 ※入カインピ
- その電流はそのまま R_2 に流れる。(オペ入特)
- R_2 では上流: P点: 0[V]から R_2 だけ電圧降下
 $\rightarrow V_o = 0 - R_2 I = -(R_2 / R_1) V_i$ ※答

まとめ・補足

○オペアンプ回路の理解

- ◇新規に生み出す必要はない
 - 目的別回路を選んで、抵抗値を設定
- ◇理解、解析の必要性
 - 回路の元テンプレがわからなかった
 - 特殊な回路の理解
- ◇方針 ※使えない場合があることも留意
 - 動いている回路 & 負帰還型
 \rightarrow 仮想短絡 / 仮想接地を仮定してみる