

回路講習会の目標と内容

電子回路を自力で解析・設計するために...

- 基礎事項の理解
 - 回路シミュレータの基本的な使い方をマスターする
1. 基礎編 1(7/6)
 - 一般回路の定理および OP アンプの基本回路について
 - 製作実習：同軸ケーブルの作成 (RG174)
 2. 基礎編 2(7/13) :
 - 交流回路と複素表示，伝達関数と Bode 線図
 - 回路シミュレータ SIMetrix の使い方について
 3. 実践編 (7/20,(27)) : Photo Diode の動作原理と使い方

回路講習会の目標と内容2

4. 応用編 (8/3(?) ~)

- SIMetrix の便利な使い方：制御回路を効率よく設計するために
 - Parameterized OPamp を使った簡易モデルの作成
 - メーカー提供の OP アンプマクロモデルからオープンループゲインの伝達関数を求める方法
 - Voltage controlled Voltage Source と 1 次遅れ要素 (RC 回路) の組み合わせによる OP アンプの簡易モデル作成
 - Laplace Transfer function や Non-linear transfer function を使った任意の回路モデル作成
 - 遅れ要素 (無駄時間要素) のモデル作成
- 負帰還と自動制御：水上著『自動制御』7 章, 11 章
 - 負帰還の Bode 線図による安定判別法
 - 制御系の計画：補償回路の組み合わせによる制御系の安定化

集中定数回路と分布定数回路(1)

- この講義で取り扱う範囲：
 - 低周波回路 (集中定数回路)
- 低周波 (集中定数回路) と高周波 (分布定数回路) の違いとは
→ 取り扱う周波数 (波長) と回路の大きさの関係で決まる

周波数	周期	波長	
		真空中	同軸ケーブル中
1 GHz	1 ns	30 cm	20 cm
1 MHz	1 μ s	300 m	200 m

集中定数回路と分布定数回路(2)

- 通常扱う回路の大きさ (30 cm 程度) の場合, 5 MHz 程度 (真空中の波長 150 m) までは十分低周波と近似して考えることができる
- 50 MHz (真空中の波長 $6 \text{ m} = 30 \text{ cm} \times 20$) 程度まではぎりぎり集中定数回路として考えてもよい回路 (基板) の大きさを小さくすると扱いやすい
- それより高い周波数では集中定数という「近似」が成り立たない
→ 電磁波としての取り扱いが必要

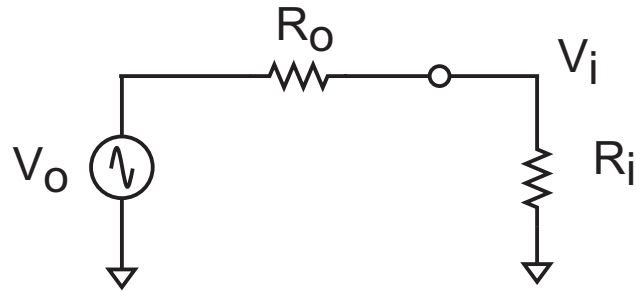
一般回路の基本法則・定理

- オームの法則: $V = ZI$
- キルヒホッフの法則
 - 第1法則 (電荷の保存則: $\nabla \cdot j = 0 (= -\frac{\partial \rho}{\partial t})$)
 - 第2法則 (閉じたループの線積分はゼロ:
 $\nabla \times E = 0 (= -\frac{\partial B}{\partial t})$)
- 重ねの理
- 鳳・テブナンの定理

(配付資料 (教科書抜粋) 参照)

入力・出力インピーダンスの考え方

低周波回路で電圧信号を伝えるために重要なこと



$$V_i = \frac{R_i}{R_o + R_i} V_o$$

出力電圧信号 V_o を正確に伝えるためには、

- $R_o \rightarrow 0$ 低出力インピーダンス
- $R_i \rightarrow \infty$ 高入力インピーダンス

このとき $V_i \approx V_o$ となる。

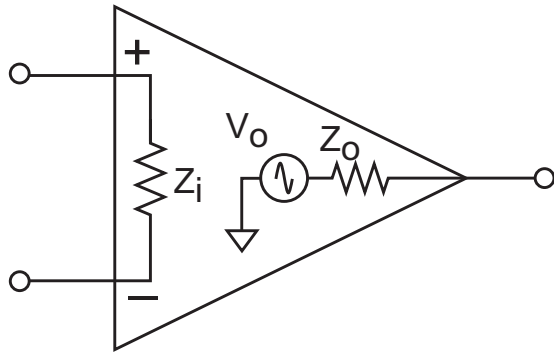
(通常 1%以内は誤差と見なす)

簡単な加算回路: 重ねの理を使う

演習問題 (別紙) 参照

理想 OP アンプの動作原理

理想 OP アンプの等価回路



$$Z_i = \infty$$

$$Z_o = 0$$

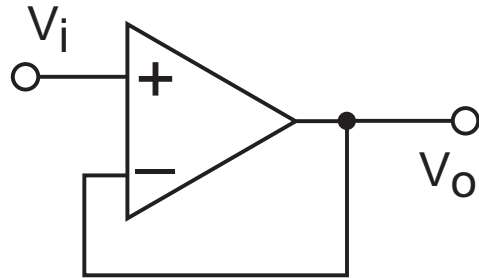
$$A = \infty$$

$$V_o = A(V^+ - V^-)$$

となるように， $+$ ， $-$ 2つの入力端子に応じた電圧を出力する電圧源と考えることができる．このときゲイン A は ∞ ，入力インピーダンス Z_i は ∞ ，出力インピーダンス Z_o は 0 である．

基本的な使い方(1): 電圧フォロア

電圧フォロア

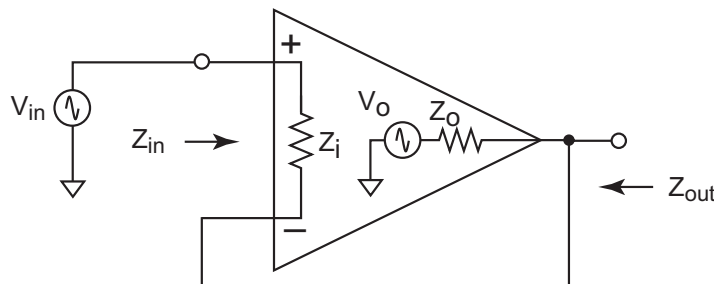


$$V_o = A(V^+ - V^-),$$

$$V^+ = V_i, V^- = V_o$$

$$\therefore V_o = \frac{A}{1+A} V_i \rightarrow V_i \quad (A \rightarrow \infty)$$

入出力インピーダンス



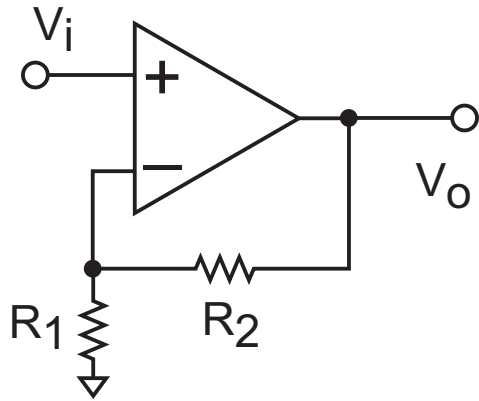
$$Z_{in} \approx (1 + A)Z_i$$

$$Z_{out} \approx \frac{Z_o}{1 + A}$$

信号の「インピーダンス変換」が可能!!

基本的な使い方(2): 非反転増幅回路

非反転増幅回路



$$V^+ = V_i, V^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_o$$

$$\therefore V_o = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + (R_1 + R_2)/A} V_i \rightarrow \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_i$$

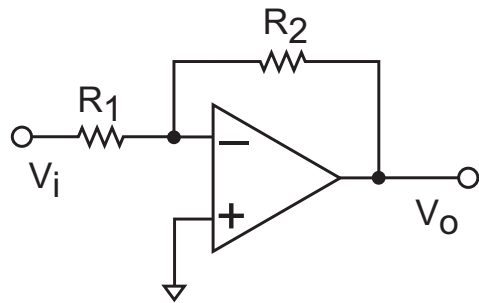
この回路の特徴:

- 入力インピーダンスが高い
- 増幅器内部で発生する雑音の影響を低減するのに有利
- 同相信号除去比 (Common Mode Rejection Ratio; CMRR) による誤差が大きい

基本的な使い方(3): 反転増幅回路

$$V^+ = 0,$$

反転増幅回路



$$V^- = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_o, \quad \text{重ねの理!}$$

$$\therefore V_o = -\frac{R_2}{R_1 + (R_1 + R_2)/A} V_i \rightarrow -\frac{R_2}{R_1} V_i$$

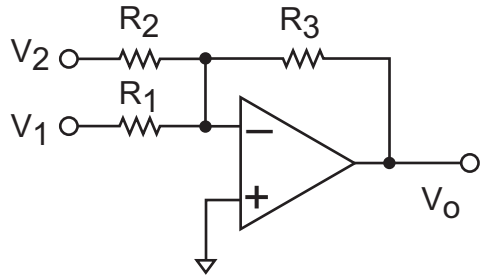
(このとき $V^- = 0$)

この回路の特徴:

- 加算回路や積分回路, 微分回路を容易に構成できる
- CMRR の影響は無視できる
- 入力インピーダンスをあまり高くできない (計算は別紙)
- OP アンプ内部の雑音の影響を受けやすい

基本的な使い方(4): 加算回路

加算回路: 演算回路



$$V^+ = 0,$$

$$V^- = \frac{R_2 // R_3}{R_1 + R_2 // R_3} V_1 + \frac{R_1 // R_3}{R_2 + R_1 // R_3} V_2 + \frac{R_1 // R_2}{R_3 + R_1 // R_2} V_o$$

$$\begin{aligned} \therefore V_o &= -\frac{R_2 R_3 V_1 + R_1 R_3 V_2}{R_1 R_2 + (R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3)/A} \\ &\rightarrow -\left(\frac{R_3}{R_1} V_1 + \frac{R_3}{R_2} V_2\right) \quad (\text{このとき } V^- = 0) \end{aligned}$$

基本的な使い方(5): 積分・微分回路

参考文献

1. トランジスタ技術 SPECIAL 『OP アンプによる実用回路設計』, 馬場 清太郎 著, 2004 年 5 月, CQ 出版 (株), ISBN4-7898-3748-3
2. 『計測のためのアナログ回路設計』, 遠坂 俊昭 著, 1997 年 11 月, CQ 出版 (株), ISBN4-7898-3284-8
3. 『計測のためのフィルタ回路設計』, 遠坂 俊昭 著, 1998 年 9 月, CQ 出版 (株), ISBN4-7898-3282-1
4. 『自動制御』, 水上 憲夫 著, 1968 年 2 月, 朝倉書店, ISBN4-254-22511-3