

4. オペアンプ (演算増幅器, Operational Amplifier)

- 増幅やアナログ的に演算を行う素子

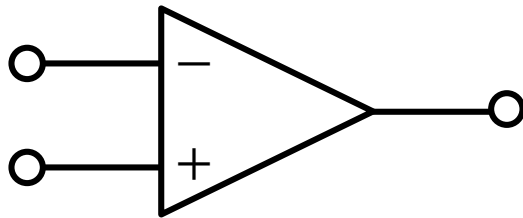
- 演算

- ◆ 加算, 減算 

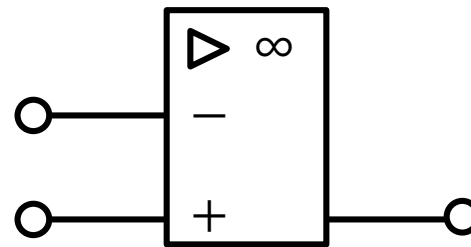
- ◆ 積分, 微分

- 記号

- 旧型の方が普及しているので旧型を採用



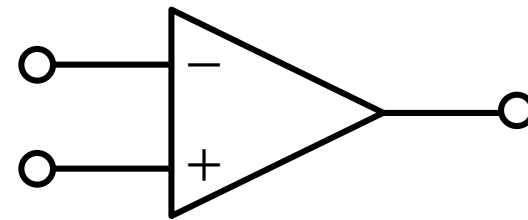
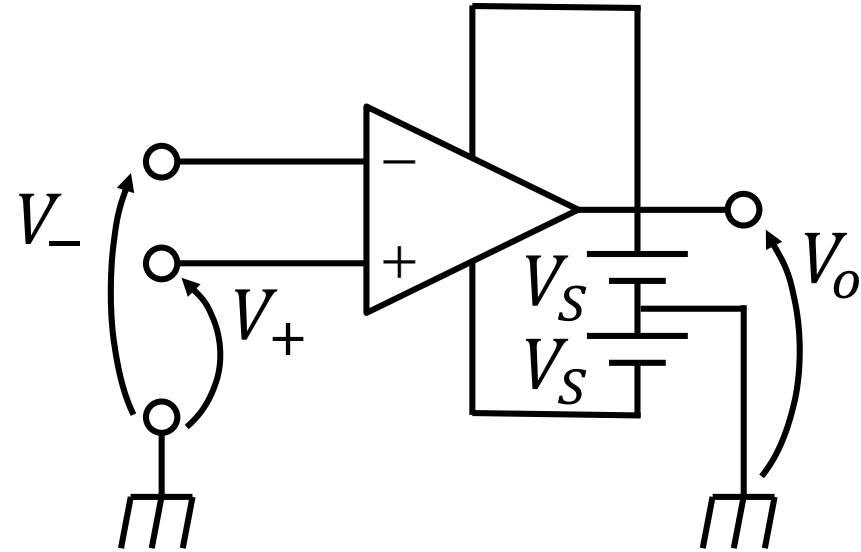
旧型



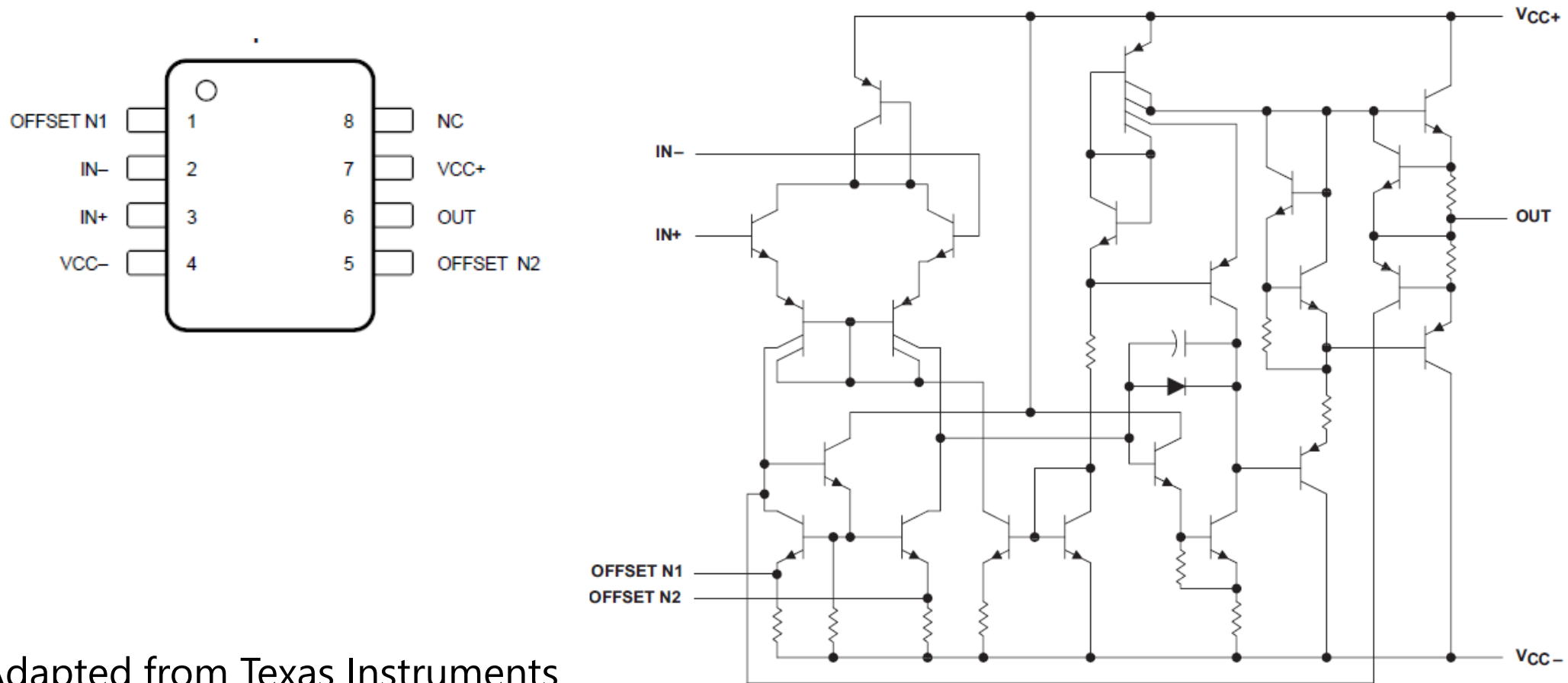
新型 (JIS C 0617)

端子

- 基本的に5端子
 - 入力 2端子, 出力1端子
 - 電源 2端子
 - ◆ + 電源端子は電圧 V_s
 - ◆ - 電源端子は電圧 $-V_s$
 - 参考: - 電源端子をGNDに接続する場合もある
- 以降, 3端子のみ表示
 - 電源端子の電圧は $V_s, -V_s$ とする
 - ◆ V_s の典型的な値: 5V, 10Vなど



μ A741 general-purpose operational amplifier



Adapted from Texas Instruments
 μ A741 data sheet (www.ti.com)

入出力の関係

- V_+ , V_- がほぼ等しい場合のみ

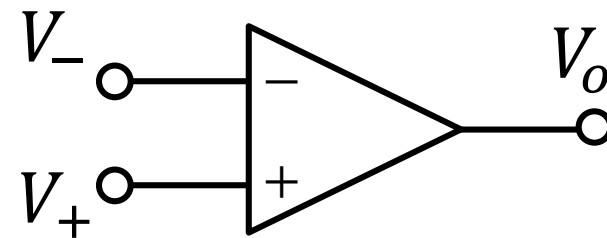
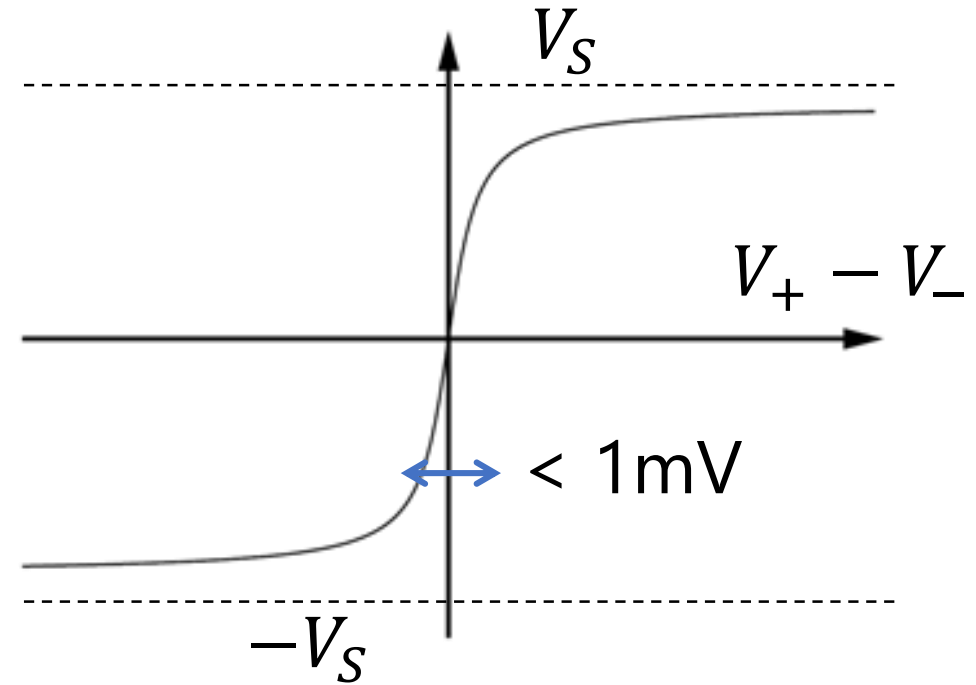
$$V_o = A_V (V_+ - V_-)$$

- A_V は電圧増幅率

- ◆ $> 100,000$

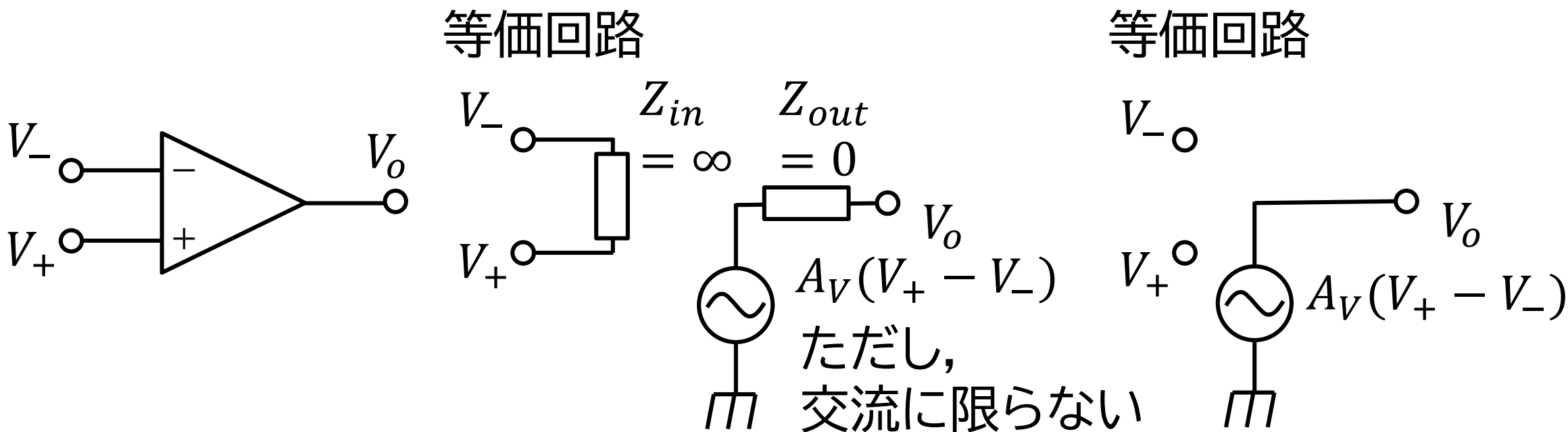
- 差が広がると飽和

→ V_+ , V_- がほぼ等しくなるように制御することが必要



理想的なオペアンプ

- 入力端子から電流を通さない
 - (入力インピーダンス $Z_{in} = \infty$)
- 出力端子に回路を付加しても電圧が下がらない
 - (出力インピーダンス $Z_{out} = 0$)



反転増幅回路 (inverting amplifier)

- 各点での電圧

- $V_4 = A_V(V_3 - V_2), V_3 = 0$

- よって $V_4 = -A_V V_2$

- 発生する負帰還 (negative feedback)

- $V_2 > 0$

- ◆ V_4 は負で大きな絶対値 → V_2 は減少

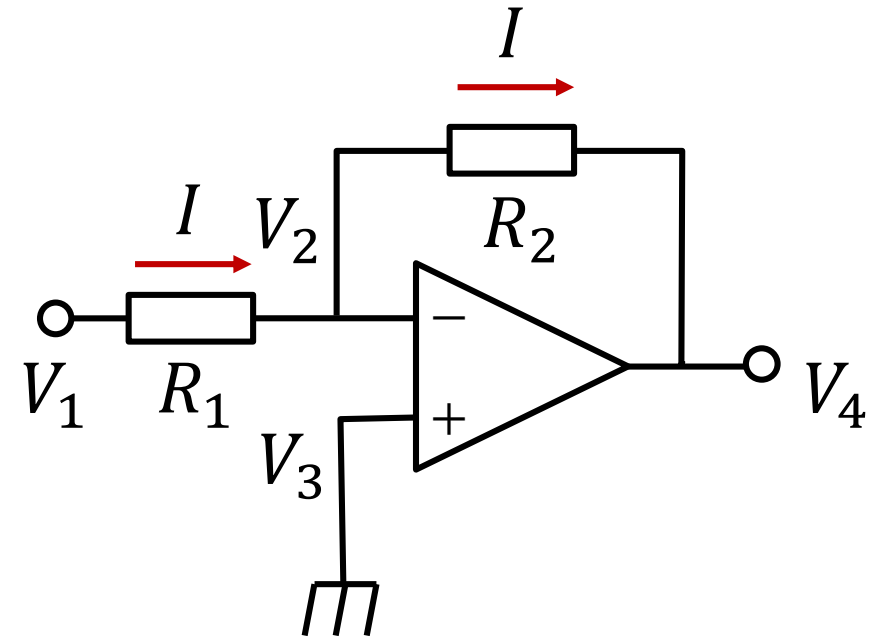
- $V_2 < 0$

- ◆ V_4 は正の大きな値 → V_2 は増加

- $V_2 = V_3$ になるように V_4 が変化

- ◆ バーチカルショート (virtual short)

- 入力電圧が仮想的に短絡 (short)



反転増幅回路 (inverting amplifier)

- バーチャルショートの結果 $V_2 = V_3 = 0$

- $V_1 - V_2 = V_1 = IR_1$

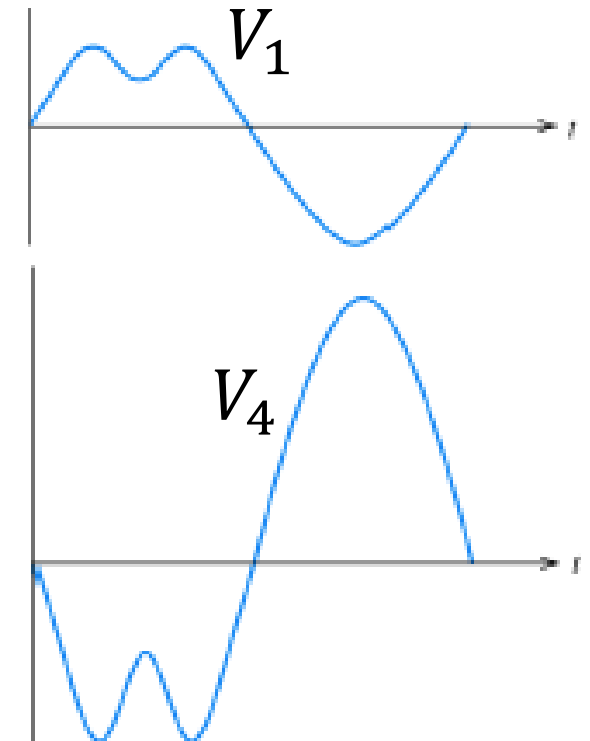
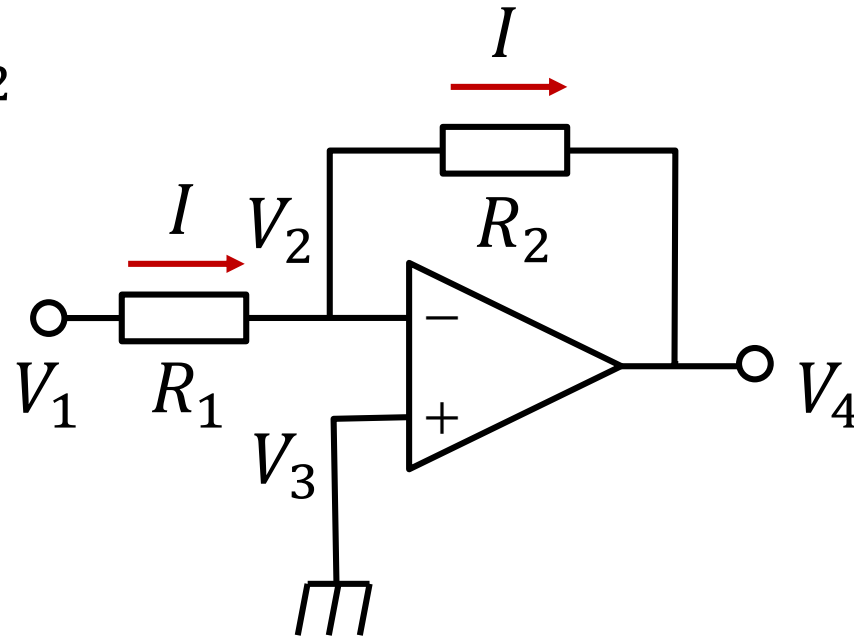
- $I = \frac{V_1}{R_1}$

- $V_2 - V_4 = -V_4 = IR_2$

- $V_4 = -\frac{R_2}{R_1} V_1$

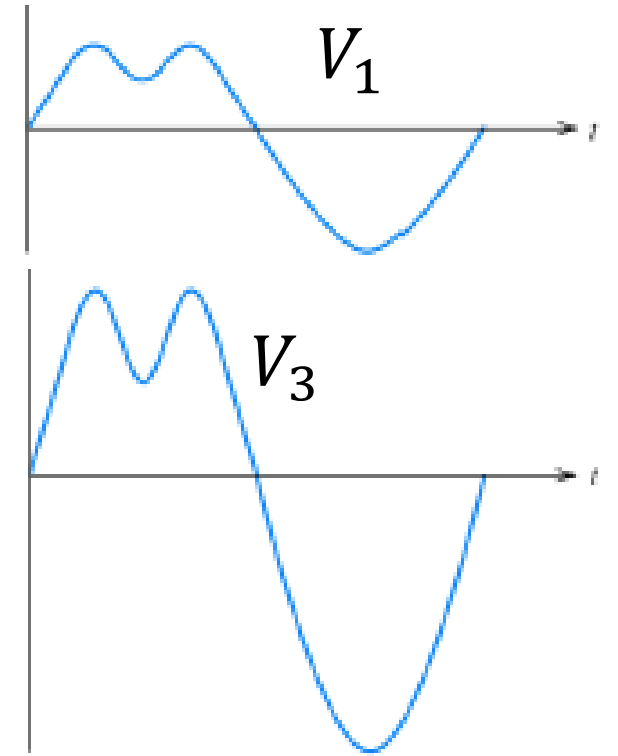
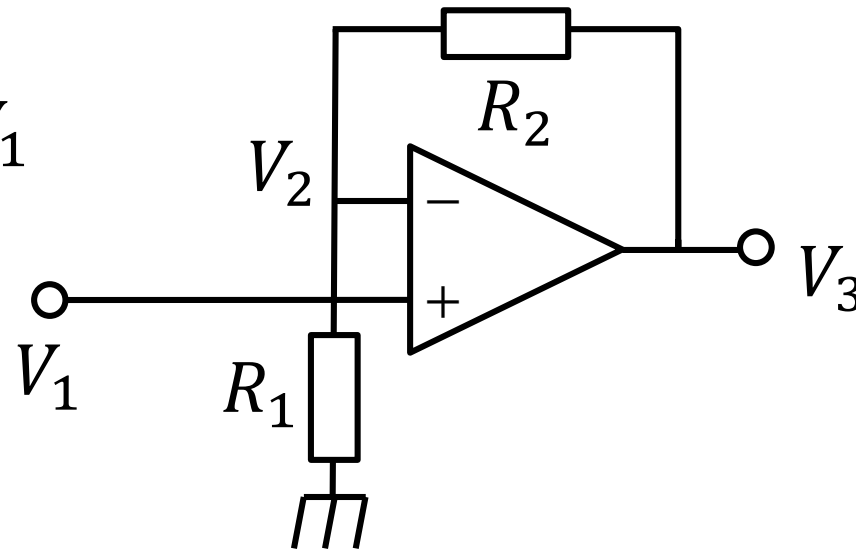
- 電圧増幅率

$$\frac{V_4}{V_1} = -\frac{R_2}{R_1}$$



非反転増幅回路 (non-inverting amplifier)

- $V_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_3$
- バーチャルショートにより
 $V_1 = V_2$
- $V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_3$
- よって $V_3 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_1$



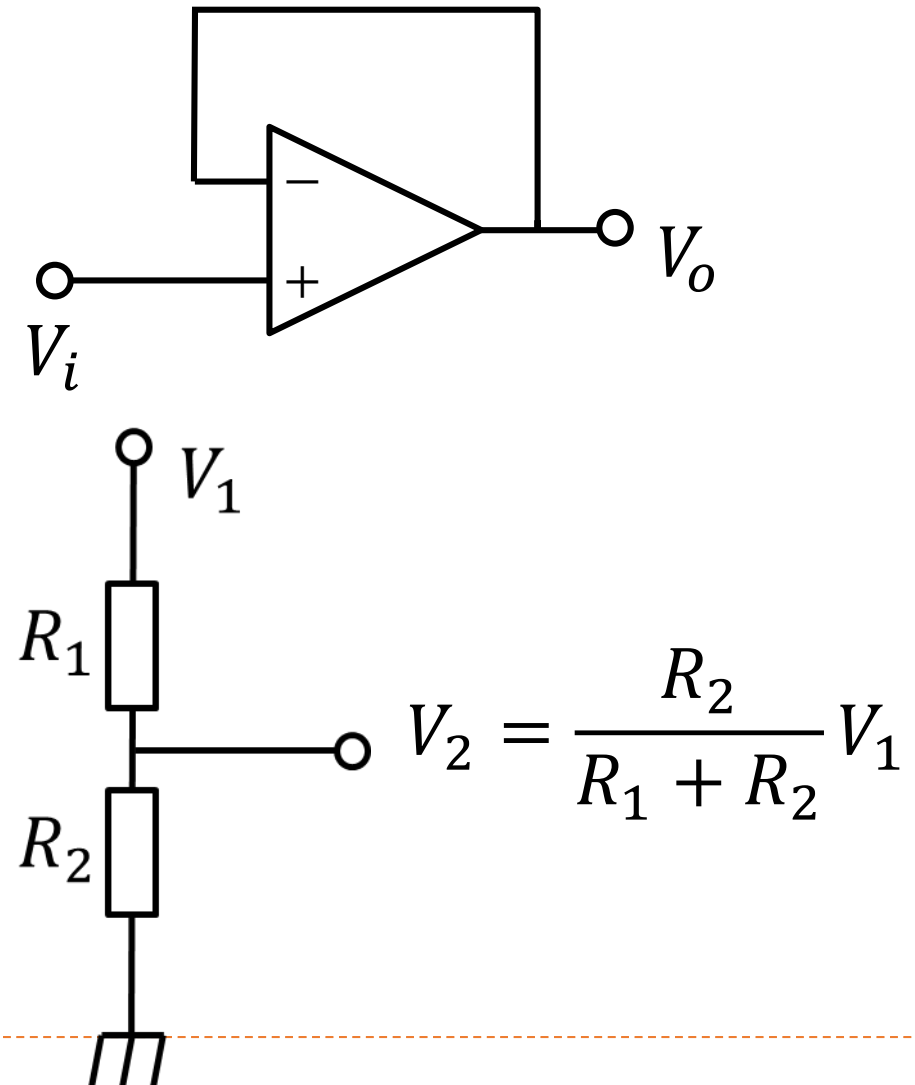
バッファ (buffer)

- バーチャルショートにより

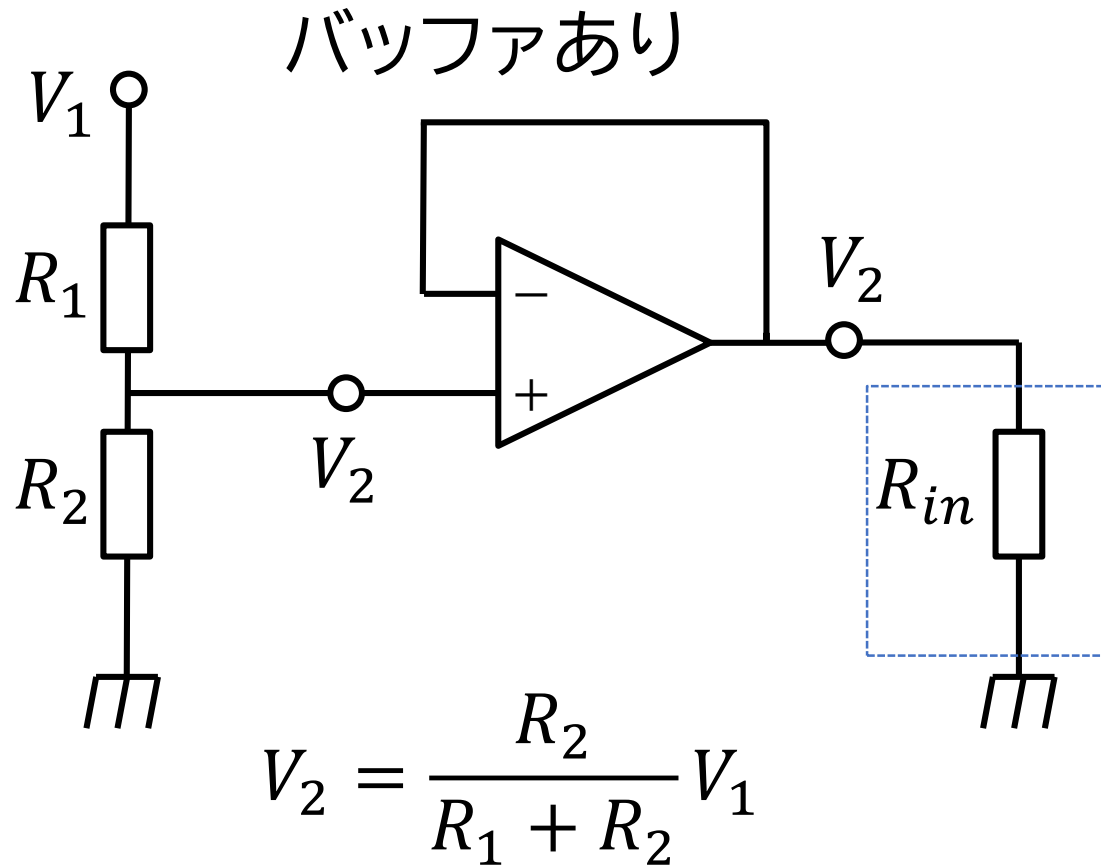
$$V_i = V_o$$

- 用途

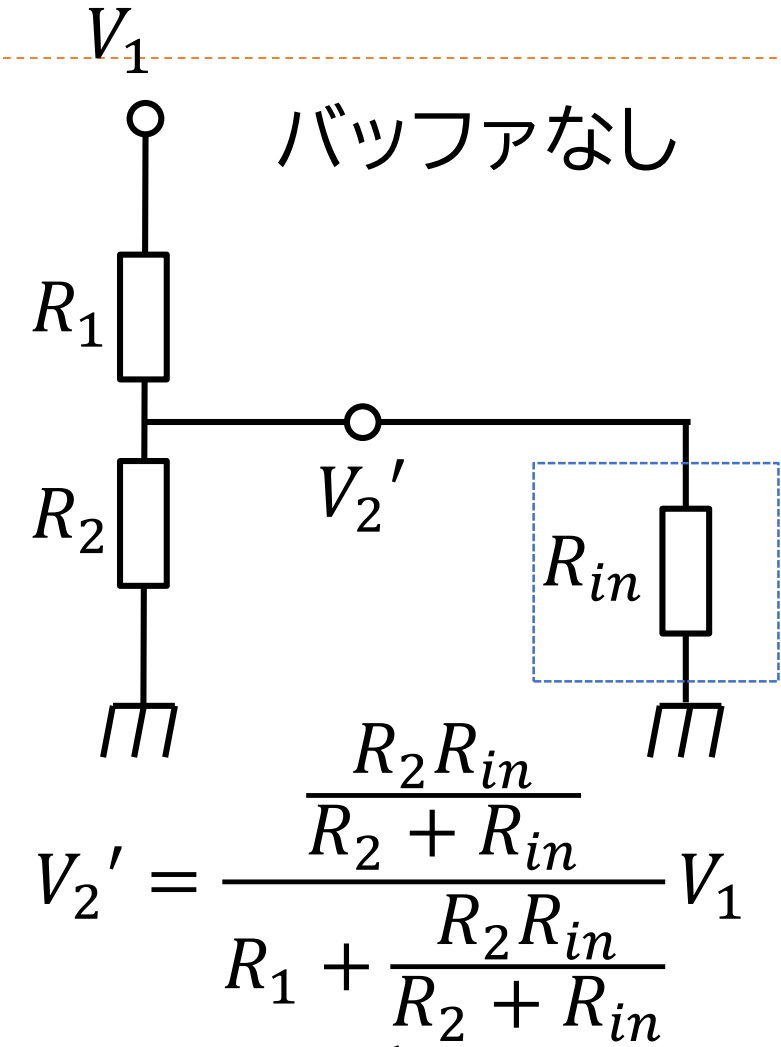
- 互いに影響をあたえないように回路を接続
- 例. 右の回路に, 別の回路を接続



バッファ



入力される電圧は変わらない



電圧は下がる

加算回路

- バーチャルショートにより

$$V_i = 0$$

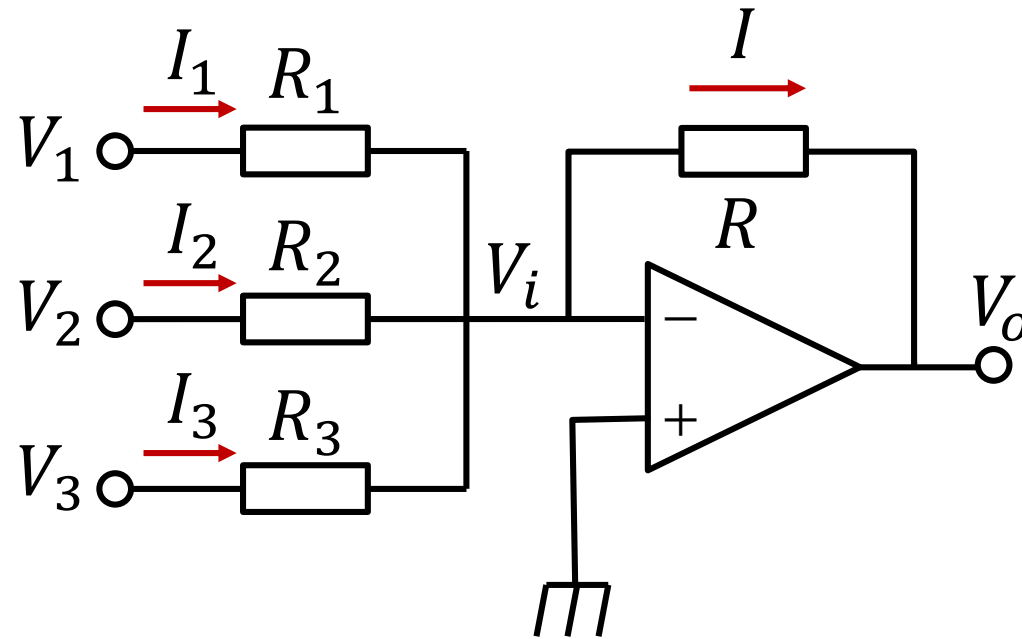
- $I_1 = \frac{V_1}{R_1}, I_2 = \frac{V_2}{R_2}, I_3 = \frac{V_3}{R_3}$

- $V_o = -IR$

- $I = I_1 + I_2 + I_3$

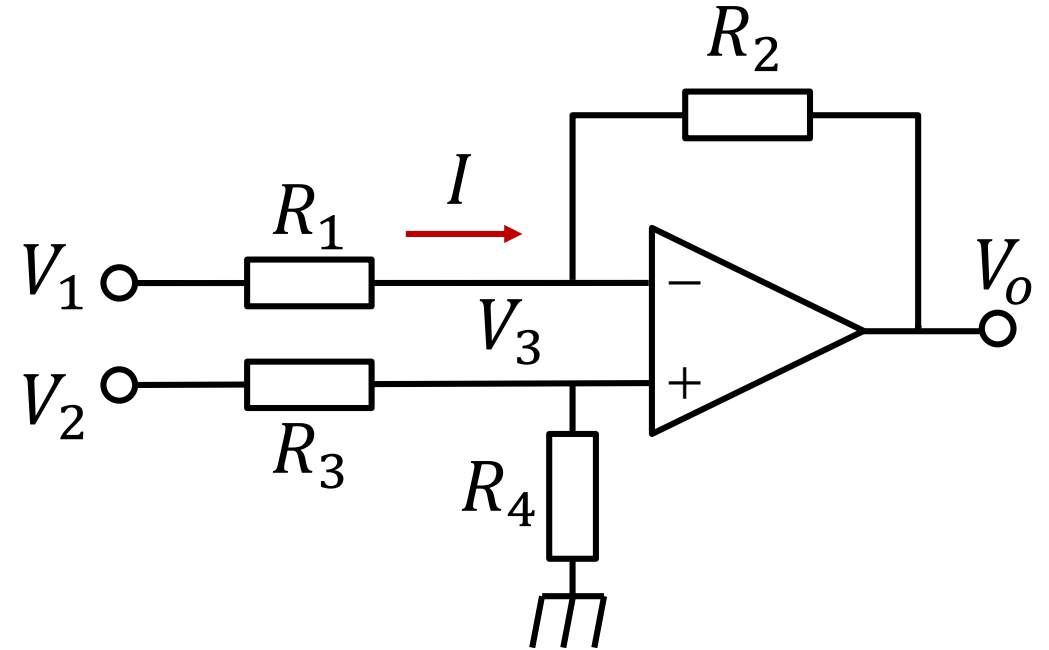
- よって

$$V_o = -\left(\frac{R}{R_1}V_1 + \frac{R}{R_2}V_2 + \frac{R}{R_3}V_3\right)$$



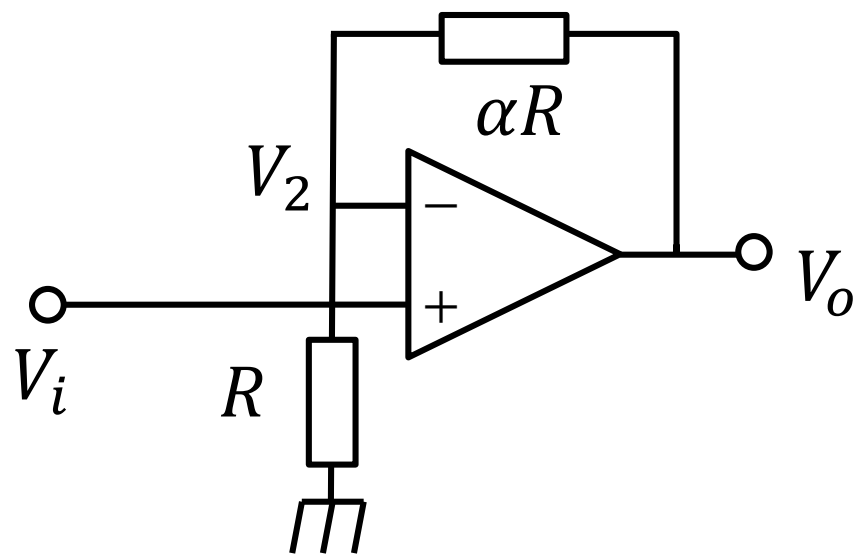
減算回路

- +入力: $V_3 = \frac{R_3}{R_3+R_4} V_2$
- -入力: $I = \frac{V_1-V_3}{R_1} = \frac{V_3-V_O}{R_2}$
- $\frac{V_O}{R_2} = \frac{V_3}{R_2} - \frac{V_1-V_3}{R_1}$
 $= \frac{R_1+R_2}{R_1R_2} V_3 - \frac{V_1}{R_1}$
- $V_O = -\frac{R_2}{R_1} V_1 + \frac{R_1+R_2}{R_1} V_3$
 $= -\frac{R_2}{R_1} V_1 + \frac{R_1+R_2}{R_1} \frac{R_3}{R_3+R_4} V_2$
 - V_2 から V_1 を減算



- 特に, $R_1 = R_3, R_2 = R_4$ のとき
 $V_O = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$

(a)



(b)

