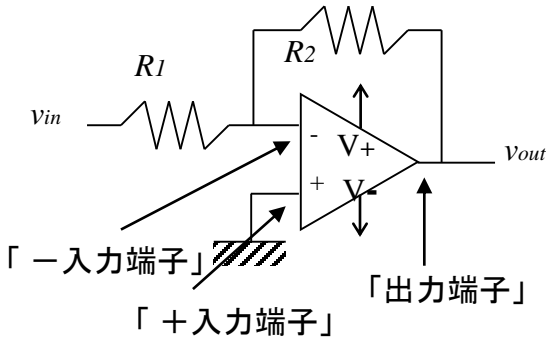


オペレーショナルアンプ(オペアンプ)回路ノート

coskx

1. 反転増幅回路



考え方(オペアンプ回路では一般的成り立つ)

ネガティブフィードバック(「出力端子」と「-入力端子」間が抵抗で結ばれている)の存在の元で次の性質を持つ

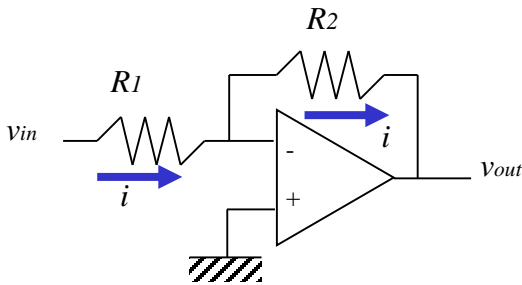
(1) **バーチャルショート**(「+入力端子」と「-入力端子」が同じ電圧になる)

(2) **入力インピーダンスが無限大**(「+入力端子」および「-入力端子」に流れ込む(流れ出す)電流は0)

注意事項(オペアンプ回路の一般的注意)

(1) 使用抵抗は数百Ωから数百kΩとする。(小さな抵抗では使用電流が大きくなりすぎて動作しない。大きな抵抗ではノイズに弱くなる)

(2) 出力は電源電圧を超えることはできない。(電源電圧の80%程度までしか出力電圧が作れないオペアンプもある)



$$v_{in} - 0 = iR_1$$

$$0 - v_{out} = iR_2$$

$$\Downarrow$$

$$v_{out} = -\frac{R_2}{R_1} v_{in}$$

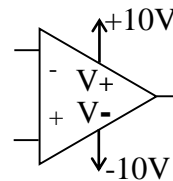
「-入力端子」は0Vになる(バーチャルショートのため)

動作範囲: $V_- < v_{out} < V_+$

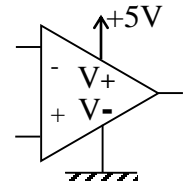
供給電源について

● +V端子に正電源(例えば+10V), -V端子に負電源(例えば-10V)をつなぐ。この状態を「正負両電源駆動」という。

● +V端子に正電源(例えば+5V), -V端子にGNDをつなぐこともあり、この状態を「片電源駆動」という。

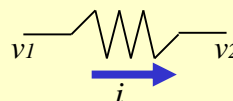


正負両電源駆動



片電源駆動

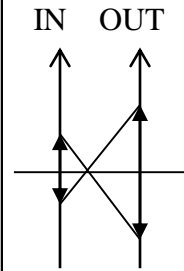
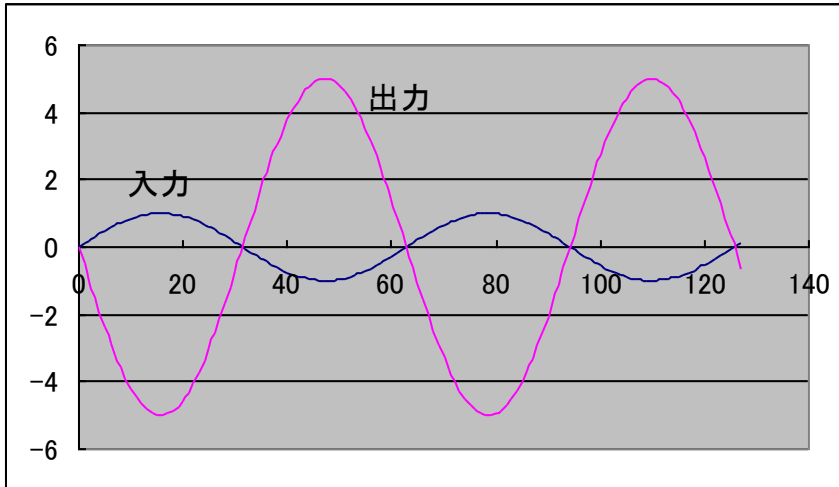
オームの法則



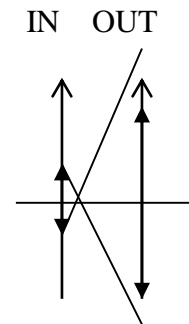
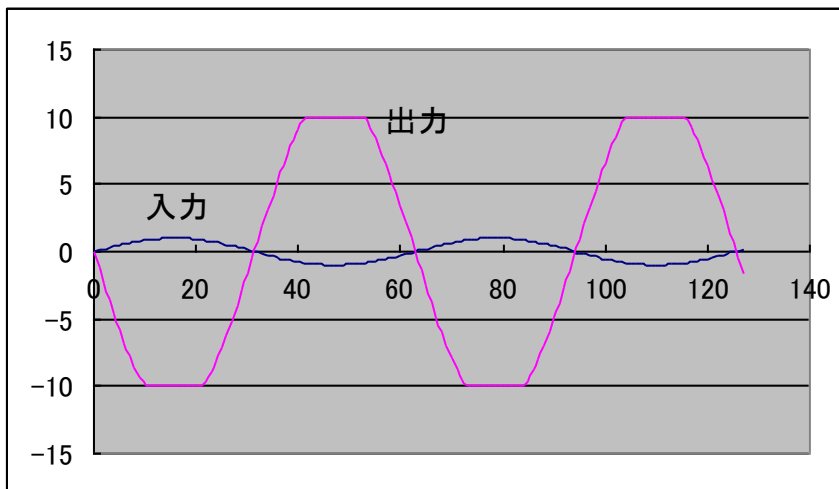
抵抗に電流と電位の関係式

$$v_1 - v_2 = iR$$

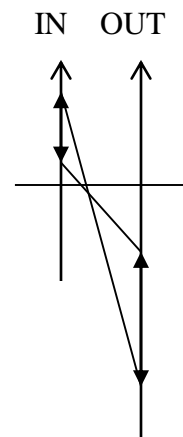
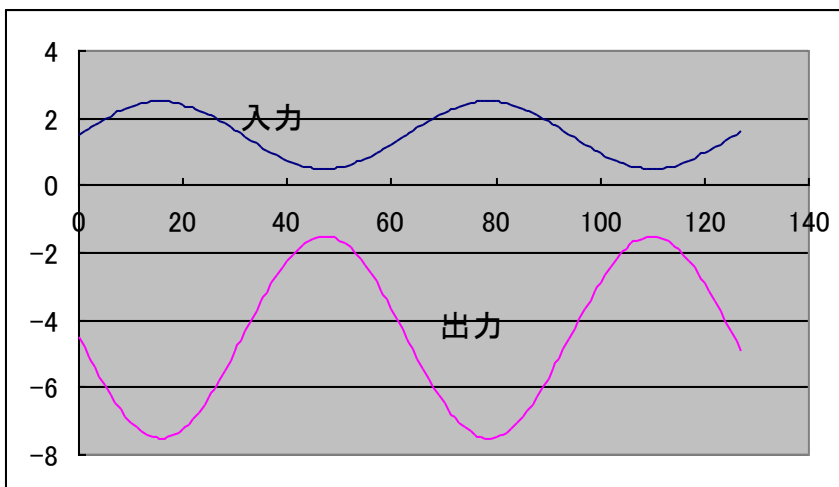
$R_2/R_1=5$ の時の反転増幅器の動作(電源電圧:+10V & -10V)



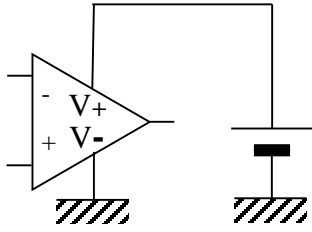
$R_2/R_1=15$ の時の反転増幅器の動作(電源電圧:+10V & -10V)



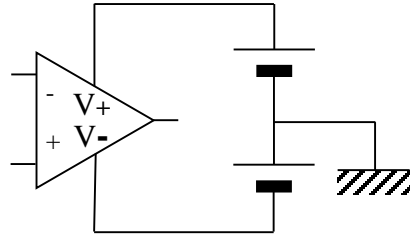
$R_2/R_1=3$ の時の反転増幅器の動作(入力信号にオフセット(1.5V)がある場合。電源電圧:+10V & -10V)



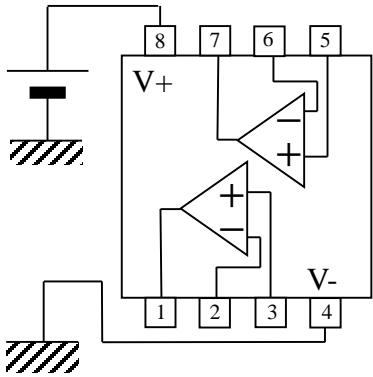
コラム オペアンプへの電源のつなぎ方



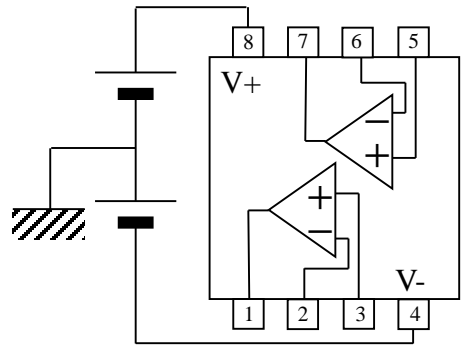
片電源の場合



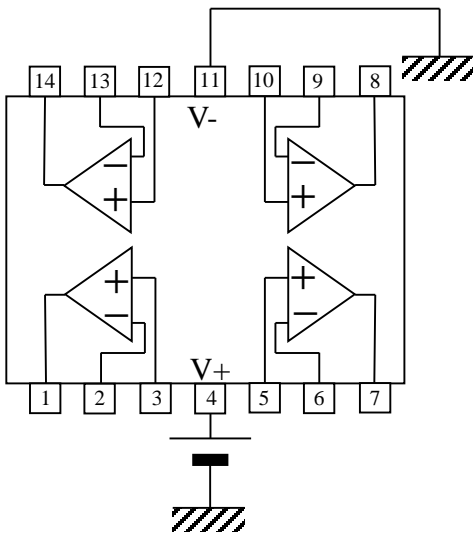
両電源の場合



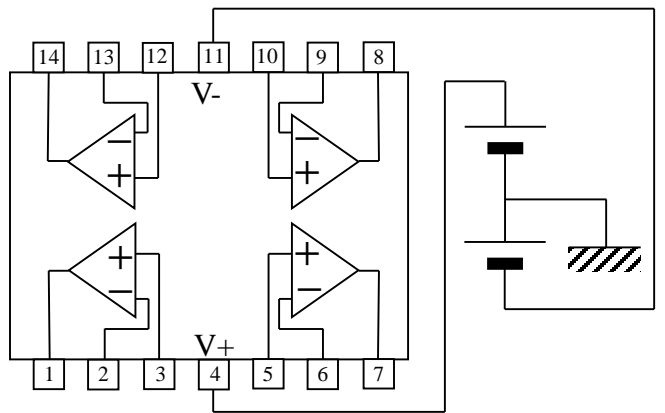
LMC662の片電源駆動



LMC662の両電源駆動

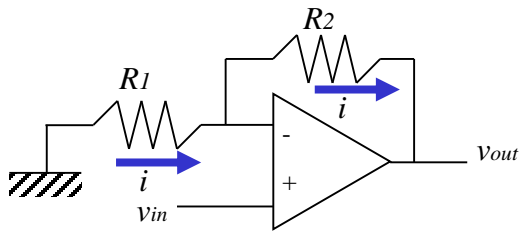


LMC660の単電源駆動



LMC660の両電源駆動

2. 非反転増幅回路



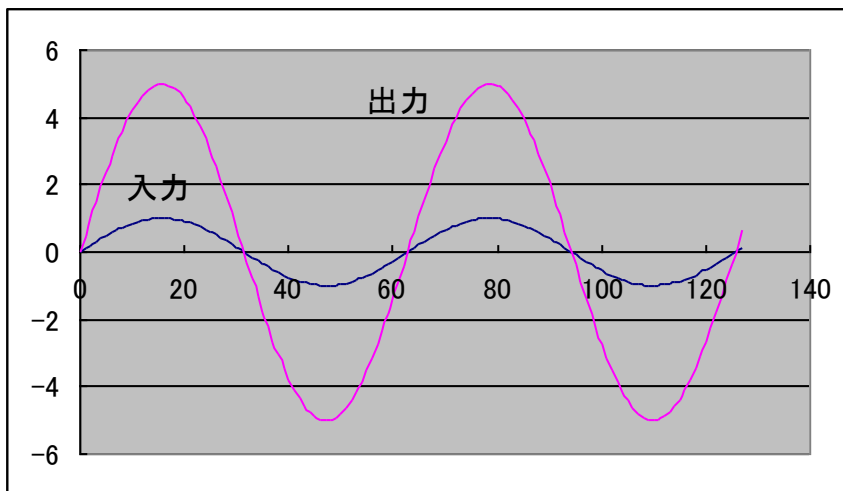
$0 - v_{in} = iR_1$ 「-入力端子」は v_{in} になる(バーチャルショートのため)

$$v_{in} - v_{out} = iR_2$$

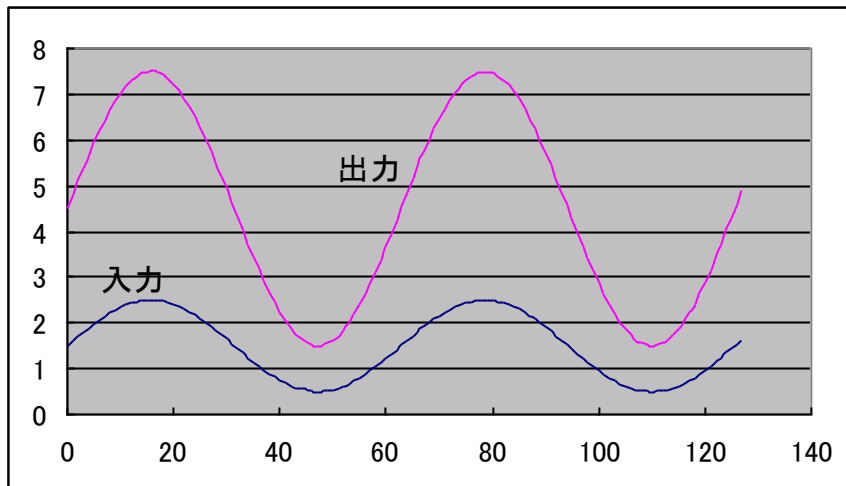
$$v_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_{in}$$

動作範囲: $V_- < v_{in} < V_+$, $V_- < v_{out} < V_+$

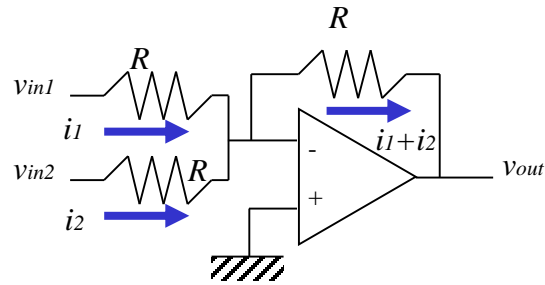
$R_2/R_1=4$ の時の非反転増幅器の動作(電源電圧: +10V & -10V)



$R_2/R_1=2$ の時の非反転増幅器の動作(入力信号にオフセットがある。電源電圧: +10V & -10V)



3. 反転加算回路



$$v_{in1} - 0 = i_1 R$$

$$v_{in2} - 0 = i_2 R$$

$$0 - v_{out} = (i_1 + i_2) R$$

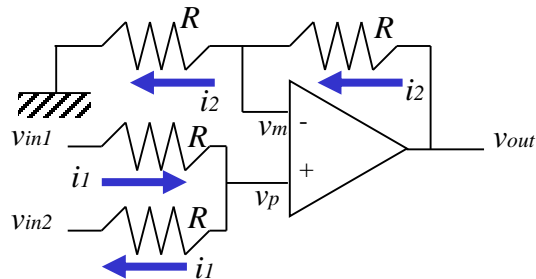
↓

$$v_{out} = -(v_{in1} + v_{in2})$$

「-入力端子」は0Vになる(バーチャルショートのため)

$$\text{動作範囲: } V_- < v_{out} < V_+$$

4. 非反転加算回路



$$v_{in1} - v_p = i_1 R$$

$$v_p - v_{in2} = i_1 R$$

$$v_{out} - v_m = i_2 R$$

$$v_m - 0 = i_2 R$$

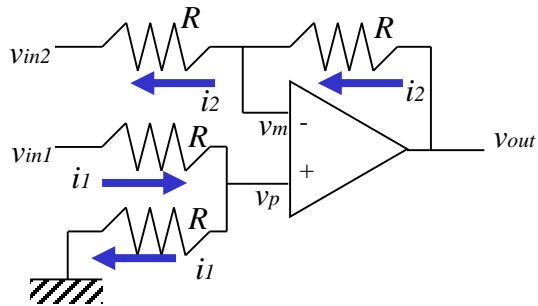
↓

$$v_{out} = v_{in1} + v_{in2}$$

$v_m = v_p$ になる(バーチャルショートのため)

$$\text{動作範囲: } V_- < \frac{v_{in1} + v_{in2}}{2} < V_+, \quad V_- < v_{out} < V_+$$

5. 減算回路



$$v_{in1} - v_p = i_1 R$$

$$v_p - 0 = i_1 R$$

$$v_{out} - v_m = i_2 R$$

$$v_m - v_{in2} = i_2 R$$

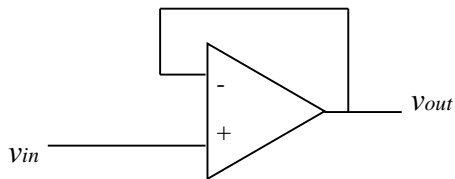
↓

$$v_{out} = v_{in1} - v_{in2}$$

$v_m = v_p$ になる (バーチャルショートのため)

動作範囲: $V_- < \frac{v_{in1}}{2} < V_+$, $V_- < v_{out} < V_+$

6. ボルテージフォロア (バッファアンプ)



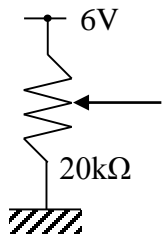
$$v_{out} = v_{in}$$

オペアンプの入力に電流が出入りしないことを利用して、入力側の回路に影響を与えないための回路

入出力の電圧は変わらない

動作範囲: $V_- < v_{in} < V_+$

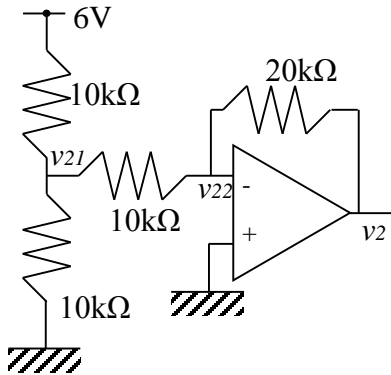
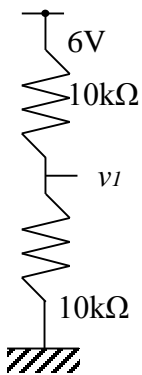
コラム ボルテージフォロアの利用例



左の図は可変抵抗を使って、0Vから6Vを取り出そうとしているところである。

ところが、必要な電圧範囲は0Vから-12Vであると仮定しよう。

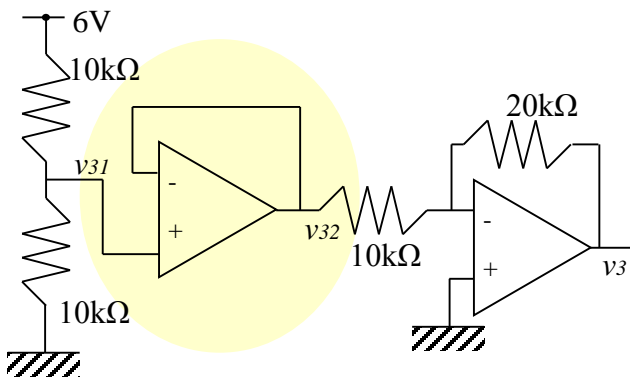
そうすると-2倍の反転増幅器を用いればよいことになる。



問題を簡単にするために、可変抵抗を2つの固定抵抗にする。

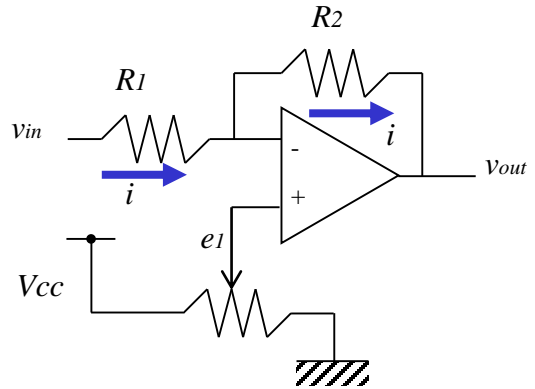
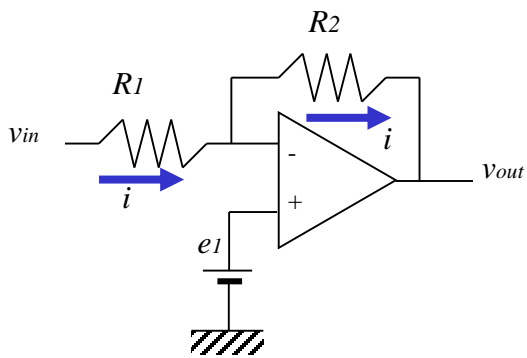
v1には3Vが出力されるので、-2倍の反転増幅器をつけて、v2には-6Vの出力を期待している。

しかし、この回路ではv22が0Vなので、v21が3Vを維持できず、v21が2Vになってしまう。その結果、v2は-4Vの出力になってしまう。



そこで途中にボルテージフォロアを挿入するとオペアンプに電流が流れ込まないのでv31は3Vを維持できるようになり、v32も3Vでv3は-6Vになる。

7. オフセット付反転増幅回路



$$v_{in} - e_1 = iR_1$$

$$e_1 - v_{out} = iR_2$$

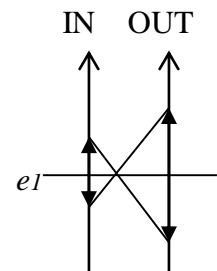
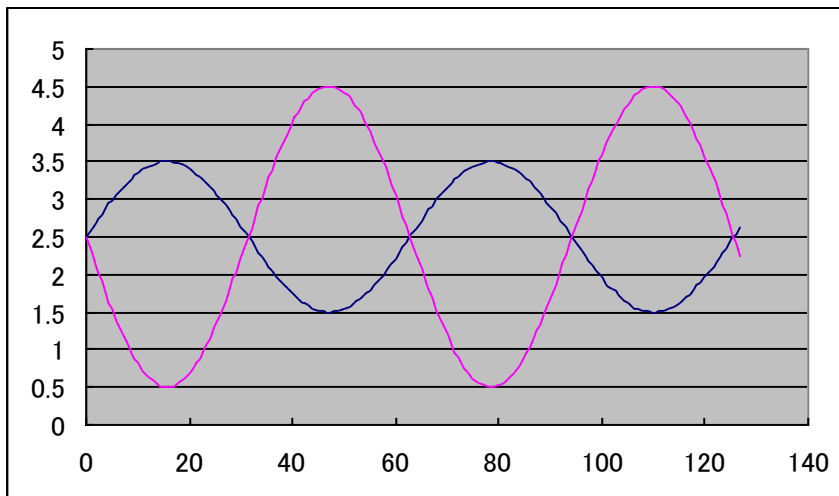
↓

$$v_{out} - e_1 = -\frac{R_2}{R_1}(v_{in} - e_1)$$

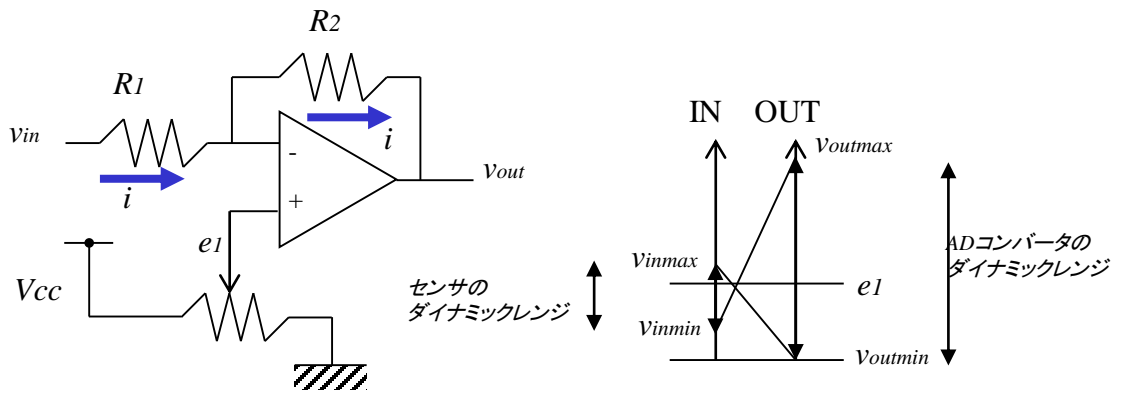
「-入力端子」は e_1 になる (バーチャルショートのため)

$$\text{動作範囲: } V_- < e_1 < V_+, \quad V_- < v_{out} < V_+$$

$R_2/R_1=2$ の時のオフセット付反転増幅器の動作 (入力信号にオフセット (2.5V) がああり, $e_1=2.5V$ 場合。電源電圧: +10V & -10V)



センサの信号をマイコン用ADコンバータのダイナミックレンジに合わせるために、単電源駆動オフセット付き反転増幅を用いる



$$v_{in} - e_1 = iR_1$$

$$e_1 - v_{out} = iR_2$$

$$\Downarrow$$

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1}V_{in} + \frac{R_1 + R_2}{R_1}e_1$$

$$V_{out} = -GV_{in} + S$$

$$G = \frac{R_2}{R_1}$$

$$S = \frac{R_1 + R_2}{R_1}e_1$$

$$V_{outmax} = -GV_{inmin} + S$$

$$V_{outmin} = -GV_{inmax} + S$$

$$\Downarrow$$

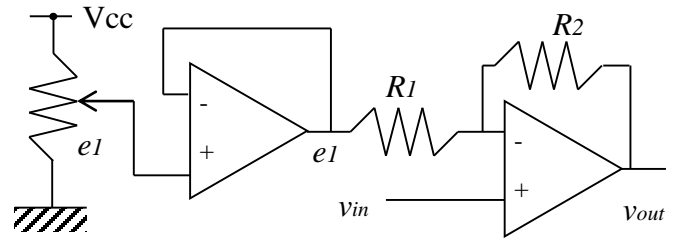
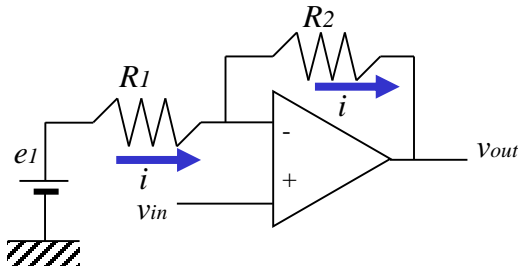
$$G = \frac{V_{outmax} - V_{outmin}}{V_{inmax} - V_{inmin}}$$

$$S = \frac{V_{outmax}V_{inmax} - V_{outmin}V_{inmin}}{V_{inmax} - V_{inmin}}$$

$$R_2 = GR_1$$

$$e_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}S$$

8. オフセット付非反転増幅回路

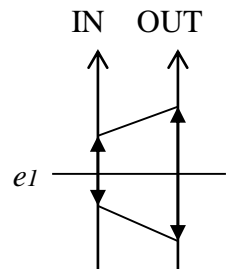
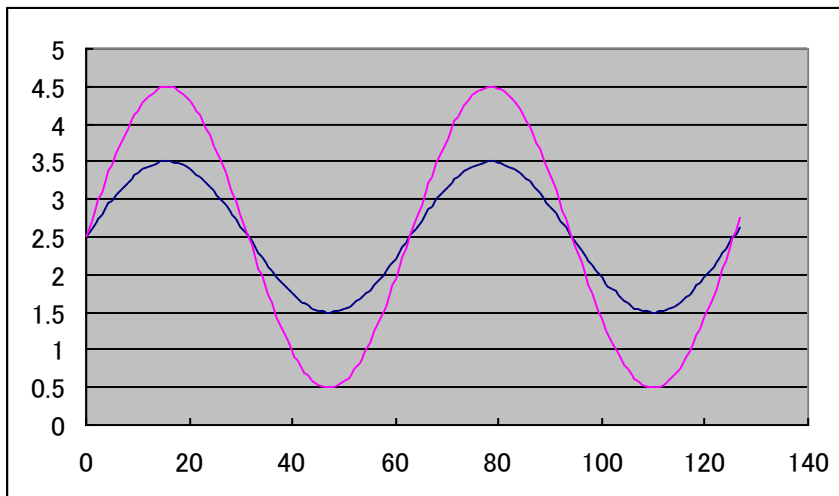


$$\begin{aligned}
 e_1 - v_{in} &= iR_1 \\
 v_{in} - v_{out} &= iR_2 \\
 &\downarrow \\
 v_{out} - e_1 &= \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)(v_{in} - e_1)
 \end{aligned}$$

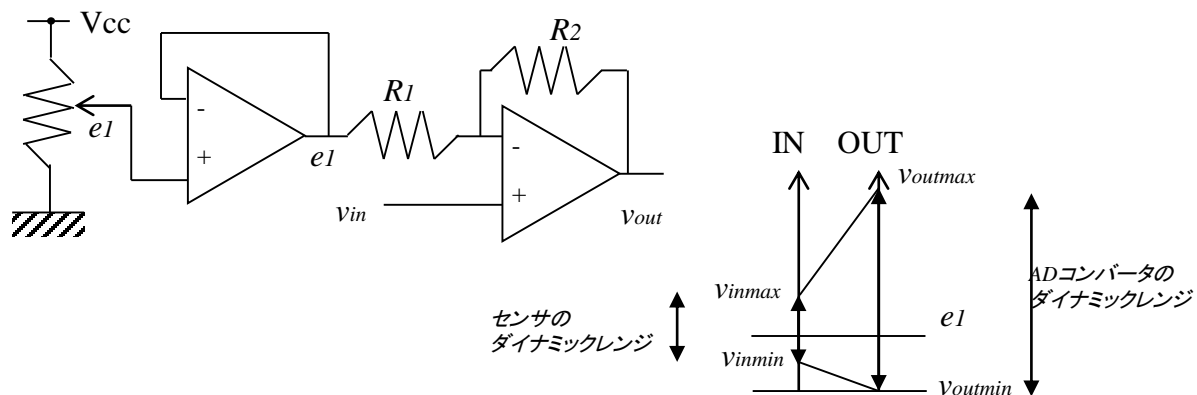
「-入力端子」は v_{in} になる(バーチャルショートのため)
 e_1 を可変抵抗で作る場合はボルテージフォロアで電圧を維持しなければならない

動作範囲: $V_- < e_1 < V_+$, $V_- < v_{in} < V_+$, $V_- < v_{out} < V_+$

$R_2/R_1=1$ の時のオフセット付非反転増幅器の動作(入力信号にオフセット(2.5V)があり, $e_1=2.5V$ 場合。電源電圧: +10V & -10V)



センサの信号をマイコン用ADコンバータのダイナミックレンジに合わせるために、単電源駆動オフセット付き非反転増幅を用いる



$$v_{in} - e_1 = iR_1$$

$$v_{out} - v_{in} = iR_2$$

$$\Downarrow$$

$$v_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} v_{in} - \frac{R_2}{R_1} e_1$$

$$v_{out} = Gv_{in} - S$$

$$G = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$S = \frac{R_2}{R_1} e_1$$

$$V_{outmax} = GV_{inmax} - S$$

$$V_{outmin} = GV_{inmin} - S$$

$$\Downarrow$$

$$G = \frac{V_{outmax} - V_{outmin}}{V_{inmax} - V_{inmin}}$$

$$S = \frac{V_{outmax} V_{inmin} - V_{outmin} V_{inmax}}{V_{inmax} - V_{inmin}}$$

$$R_2 = (G - 1)R_1$$

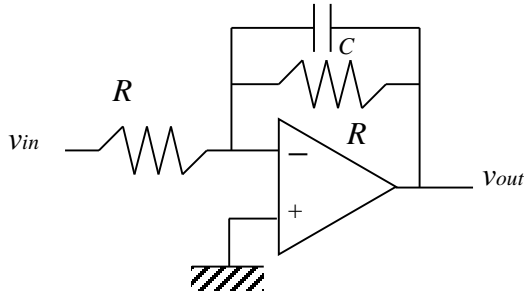
$$e_1 = \frac{R_1}{R_2} S$$

コラム 片電源駆動について

信号が正の電圧に限られる場合、信号が電源電圧の1/2程度のオフセットを持っている場合は、片電源駆動が可能である。そのような場合の回路の使用について考察する

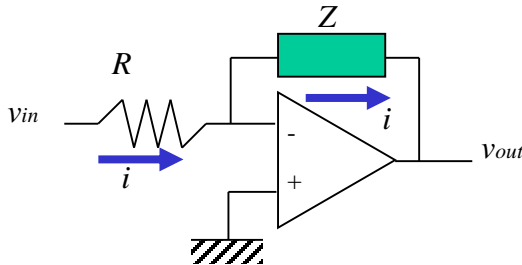
- (1)反転増幅回路 不適
- (2)非反転増幅回路 適
- (3)反転加算回路 不適
- (4)非反転加算回路 適
- (5)減算回路 適
- (6)ボルテージフォロア 適
- (7)オフセット付反転増幅回路 適
- (8)オフセット付非反転増幅回路 適

9. 一次ローパスフィルタ



容量Cのコンデンサは $\frac{1}{j\omega C}$ の抵抗とみなせる

RとCの並列なので合成抵抗を求めると



$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \frac{1}{\frac{1}{j\omega C}}$$

$$Z = \frac{R}{1 + j\omega RC}$$

$$v_{in} - 0 = iR$$

$$0 - v_{out} = iZ$$

$$\downarrow$$

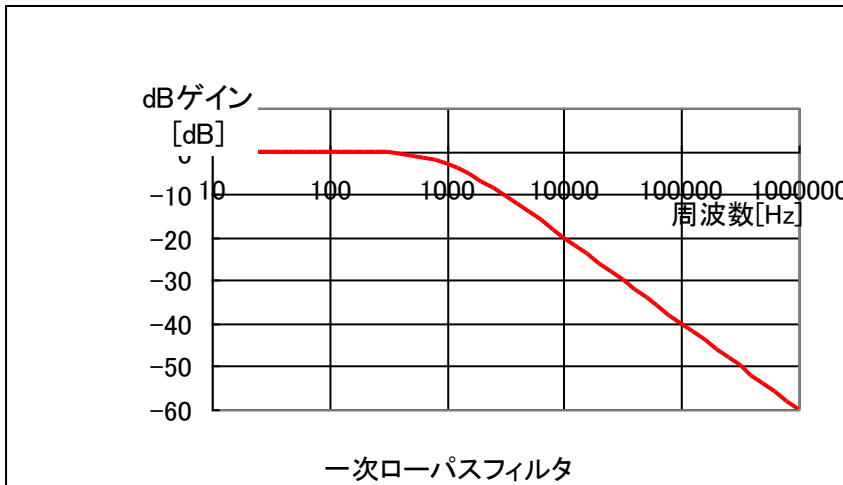
$$v_{out} = -\frac{Z}{R} v_{in}$$

「-入力端子」は0Vになる(バーチャルショートのため)

$$v_{out} = -\frac{1}{1 + j\omega RC} v_{in}$$

$$Gain = \left| \frac{v_{out}}{v_{in}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2}} \quad \left(\omega_c = \frac{1}{RC} \right)$$

$$dB Gain = -10 \log \left(1 + \left(\frac{f}{f_c} \right)^2 \right) \quad \left(f_c = \frac{1}{2\pi RC} \right)$$



10. 微弱な信号の二値化(5V単一電源)

