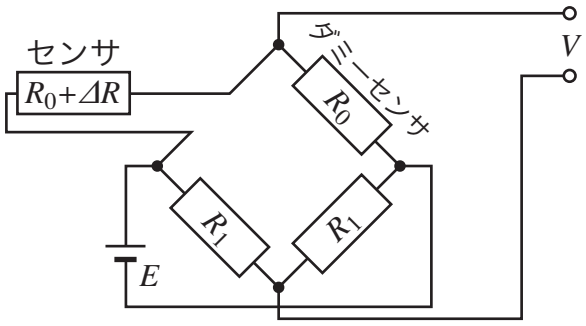
情報通信工学：前半の重要ポイント

1　検出回路

- **検出回路：**種々の物理量を検出するためのセンサの信号出力は、インピーダンス、電流、電荷など様々である。これらを演算回路に入力するためには電圧に変換する必要があり、このための回路を検出回路という。

- **ブリッジ回路：**微小なインピーダンス変化を生じるセンサの信号を、変化量に比例した電圧信号に変換する回路。抵抗変化するセンサに対しては直流ブリッジが、静電容量やインダクタンスが変化するセンサに対しては交流ブリッジが使用される。ブリッジ回路の感度を最大にするため、通常はブッリジ抵抗を左右対称 (下図参照) にして用いるとともに、センサの対向側抵抗にはダミーセンサを用いることで、検出量以外の要因 (気温変化等) による影響をキャンセルするように構成する。



2　アナログ増幅・演算回路

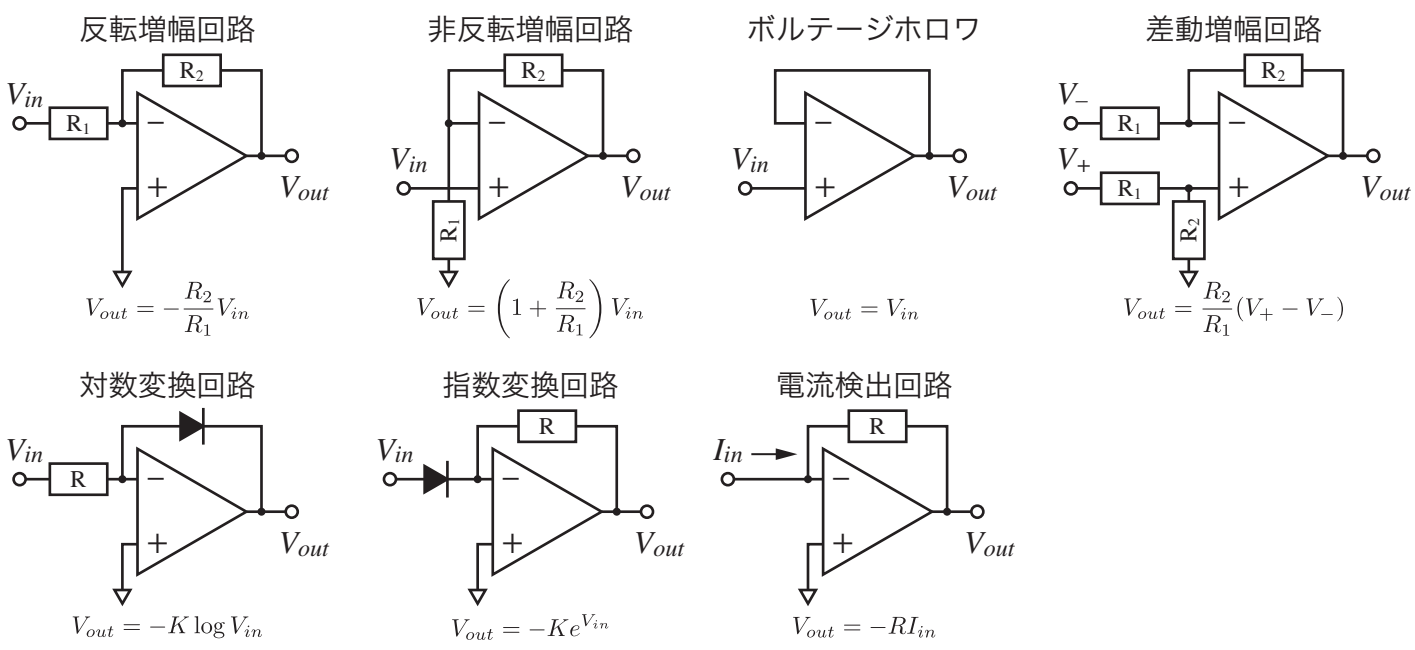
- **オペアンプ：**非反転入力端子 (+) と反転入力端子 (–) の間の電圧差を増幅して出力する集積回路をオペアンプ (演算増幅器) という。

- **理想オペアンプ：**理想オペアンプは、(1) 増幅度は無限大、(2) 入力インピーダンスは無限大、(3) 出力インピーダンスは 0、(4) 諸特性の周波数依存はない、といった特徴を持つ。

- **負帰還：**オペアンプを増幅回路として使用する際は、出力と反転入力端子を抵抗等を介して接続する。これを負帰還という。負帰還をかけると、非反転入力端子と反転入力端子が同電位となるようにオペアンプは動作する。このことをイマジナリショート (仮想短絡) という。また、非反転入力端子が接地されている場合には反転入力端子も接地電位となる。このことをイマジナリグランウンド (仮想接地) という。

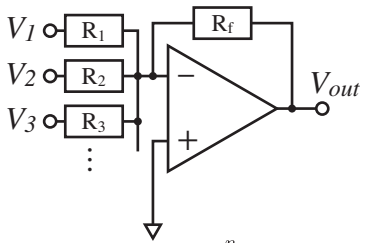
- **出力の飽和：**オペアンプは供給された電源の範囲 ($\pm V_{cc}$) を超える電圧は出力できない (理想オペアンプの場合)。実際のオペアンプは V_{cc} より 1〜2 V 程度低い値で飽和するものが多い。一般にオペアンプの電源には ±12 V や ±15 V が用いられるが、この場合の想定信号範囲は ±10 V であることが多い。

- **オペアンプを用いた各種の基本回路：**以下に、オペアンプを用いた基本回路を示す。図中の抵抗には、一般には数 kΩ〜数十 kΩ を用いることが多い。ボルテージホロワは出力インピーダンスの高い信号源からの電圧を正しく後段に伝えるために使われる。差動増幅回路は主に長い伝送ケーブルで生じる同相雑音を除去するために使われる。



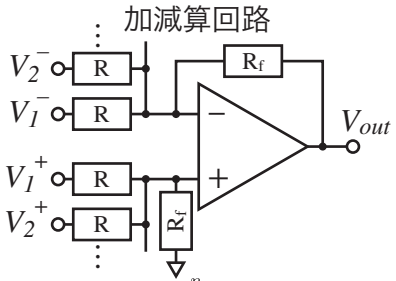
- **オペアンプを用いた各種の演算回路：**以下に、オペアンプを用いた演算回路を示す。加減算回路は、加算項数と減算項数が等しくないと正しく動作しない。LPF(低域通過フィルタ) と HPF(高域通過フィルタ) の f_c はカットオフ (遮断) 周波数である。LPF は低周波数では反転増幅回路、高周波数では積分回路として動作する。HPF は低周波数では微分回路、高周波数では反転増幅回路として動作する。LPF、HPF ともに遮断周波数の信号に対するゲインは通過域のゲイン (反転増幅ゲイン) の $1/\sqrt{2}$ である (遮断周波数でデジタル的に遮断されるのではないことに注意)。

反転加算回路



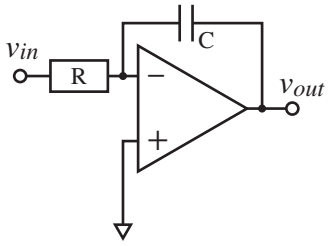
$$V_{out} = -R_f \sum_{i=1}^{n} \frac{V_i}{R_i}$$

加減算回路



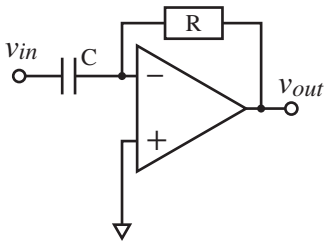
$$V_{out} = \frac{R_f}{R} \sum_{i=1}^{n} (V_i^+ - V_i^-)$$

積分回路



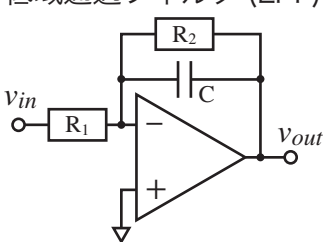
$$v_{out} = -\frac{1}{CR} \int v_{in}\, dt$$

微分回路



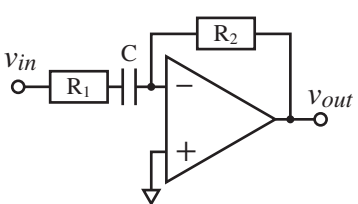
$$v_{out} = -CR \frac{dv_{in}}{dt}$$

低域通過フィルタ (LPF)



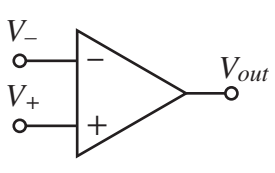
$$f_c = \frac{1}{2\pi C R_2}$$

高域通過フィルタ (HPF)



$$f_c = \frac{1}{2\pi C R_1}$$

コンパレータ



$$V_{out} = +V_{cc} \quad (V_+ > V_-)$$
$$V_{out} = -V_{cc} \quad (V_+ < V_-)$$

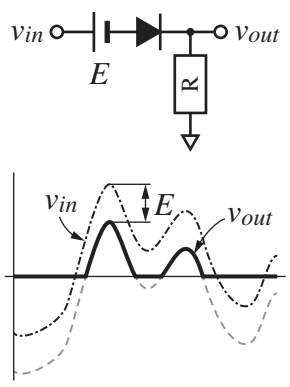
3 パルス回路

- **ダイオード (PN ダイオード)：**ダイオードは p(アノード) → n(カソード) の方向には電流を流すが、逆方向は流れない。電流が流れる方向に電圧を加えることを順バイアス、流れない方向を逆バイアスという。理想ダイオードは順バイアスで抵抗値 0、逆バイアスで抵抗値無限大となり、スイッチとして動作する。

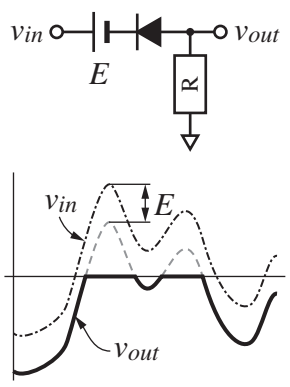
- **トランジスタ (バイポーラトランジスタ)：**トランジスタの中間層はベース電極、両端はそれぞれエミッタ電極、コレクタ電極と呼ばれる。npn 型の場合はベースからエミッタ (pnp の場合はエミッタ→ベース) に微小電流を流すと、数十〜数百倍の電流がコレクタ→エミッタ (pnp の場合はエミッタ→コレクタ) 間に流れる (電流増幅作用)。パルス回路としてトランジスタを用いる場合、理想的には電流増幅度は無限大、電極間抵抗は 0 として扱うことができ、ベース電流の有無で制御するスイッチとして動作する。

- **ダイオード・トランジスタを用いたパルス関連回路：**以下に、ダイオード・トランジスタを用いたパルス関連回路を示す。ダイオードや電池の向きに注意すること。

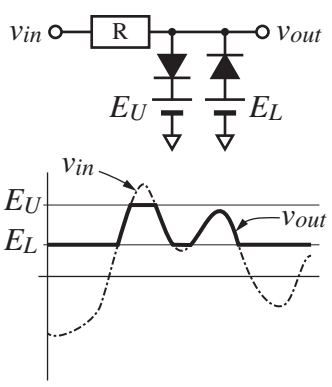
クリッパ (上側)



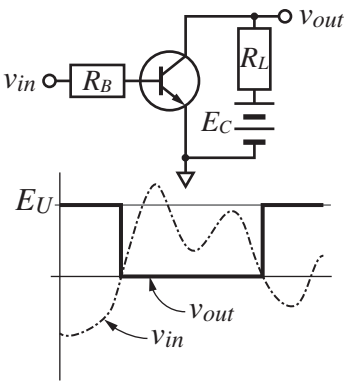
クリッパ (下側)



リミッタ



インバータ



4 その他

本資料および演習問題 (1〜4) の解答例を以下からダウンロードできるので、適宜参考とすること。

http://www.surf.nuqe.nagoya-u.ac.jp/members/nakahara/ICE_summary1.pdf

情報通信工学 演習 1

学籍番号： 学籍番号　　氏名： 氏名　　評価： A/B/C

1-1

以下の文中の枠内に適切な語句を入れよ。

- センサ は様々な物理量を電気信号に変える素子であり、その出力は インピーダンス 、電圧、電流など様々である。一方、信号処理回路の入力信号は基本的に 電圧 であるため、多くの場合はセンサと信号処理回路との間に 検出回路 が必要となる。
- 抵抗変化するセンサには 直流ブリッジ 回路を用いる。また、キャパシタンスやインダクタンスが変化するセンサに対しては 交流ブリッジ 回路を用いる。これらの回路ではセンサと対になる抵抗 (コンデンサ/インダクタ) の部分に ダミーセンサ を用いるのが通例であり、これによって測定したい物理量以外のインピーダンス変動を打ち消す事が可能となる。

問 1-2

教科書 p3、p4 の式 1.1、1.2 を導出せよ。

出力電圧 V はブリッジの上の点と下の点の電位差であるので、

$$V = \left(\frac{R}{R+R_2} - \frac{R_1}{R_1+R_3} \right) E = \frac{RR_1 + RR_3 - R_1R - R_1R_2}{(R+R_2)(R_1+R_3)} E = \frac{RR_3 - R_1R_2}{(R+R_2)(R_1+R_3)} E \quad \cdots (1.1)$$

ここで、ブリッジのバランス条件 $R_0R_3 = R_1R_2$ を考慮し、$R \to R_0 + \Delta R$ とすると、

$$V = \frac{(R_0+\Delta R)R_3 - R_0R_3}{\{(R_0+\Delta R)/R_0 + R_2/R_0\}R_0(R_1/R_3 + R_3/R_3)R_3} E = \frac{\Delta R}{\{(R_0+\Delta R)/R_0 + R_2/R_0\}(1+R_1/R_3)R_0} E$$

ここで、$\Delta R/R_0 \ll 1$ とすると、$(R_0+\Delta R)/R_0 \simeq 1$ であるので、

$$V = \frac{1}{(1+R_2/R_0)(1+R_1/R_3)} \frac{\Delta R}{R_0} E \quad \cdots (1.2)$$

問 1-3

直流ブリッジ回路の感度 (S: 教科書 p5-式 1.4) を最大とする条件が $x = 1$ であることを証明せよ (R_0、E は一定とする)。

$f(x) = \dfrac{x}{(1+x)^2}$ を x で微分すると、

$$f'(x) = \frac{1}{(1+x)^2} + x\frac{-2}{(1+x)^3} = \frac{1+x-2x}{(1+x)^3} = \frac{1-x}{(1+x)^3}$$

$x > 0$ であるので $(1+x)^3 > 1$。よって、$f'(x) = 0$ となる条件は $1 - x = 0$ すなわち $x = 1$。また、$x < 1$ で $f'(x) > 0$、$x > 1$ で $f'(x) < 0$。従って、$f'(x)$ は $x = 1$ で最大値をとる。

情報通信工学 演習 2

学籍番号： 学籍番号　　氏名： 氏名　　評価： A/B/C

2-1

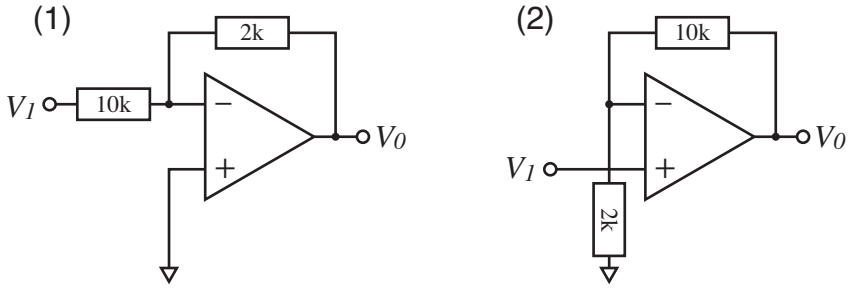
以下の文中の枠内に適切な語句を入れよ。

- 理想的なオペアンプの増幅度は 無限大 、入力インピーダンスは 無限大 、出力インピーダンスは 0 であり、その特性は信号周波数に 依存しない 。
- オペアンプを増幅回路に用いる場合、一般的には 負帰還 をかけて使用する。このときオペアンプの非反転入力端子と反転入力端子の電位は 等しく なり、このことを イマジナリショート という。
- 反転増幅回路では非反転入力端子が接地されているため、反転入力端子は イマジナリグラウンド の状態となる。

問 2-2

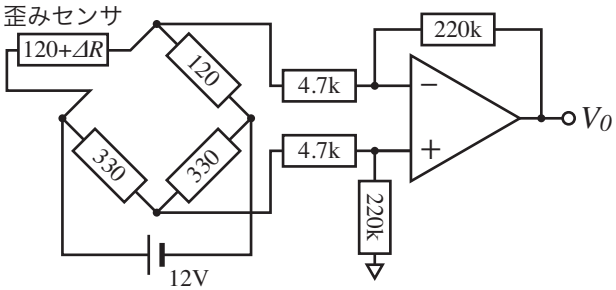
以下の増幅回路の回路図を描け。なお、入力端子は V_1、出力端子は V_0 を記すこと。

(1) 入力電圧を −0.2 倍にする反転増幅回路。ただし、入力抵抗は 10 kΩ を用いよ。
(2) 入力電圧を 6 倍にする非反転増幅回路。ただし、帰還抵抗は 10 kΩ を用いよ。



問 2-3

図は基準抵抗 120 Ω の歪みセンサの信号を検出・増幅する回路の図である。回路の出力電圧 (V_0) が 1.0 V のとき、歪みセンサの抵抗変化 (ΔR) を求めよ。



右側の差動増幅回路の増幅度は 220000/4700=46.8 倍である。よって、出力が 1.0 V のとき、差動増幅回路への入力電位差は V = 1.0/46.8 V。電位差 V がブリッジ回路の出力電位差であり、この値は教科書 1.2 式より、

$$V = \frac{1}{4}\frac{\Delta R}{120} \times 12 = \frac{\Delta R}{40} = \frac{1.0}{46.8}$$

従って、 $\Delta R = 0.85\ \Omega$

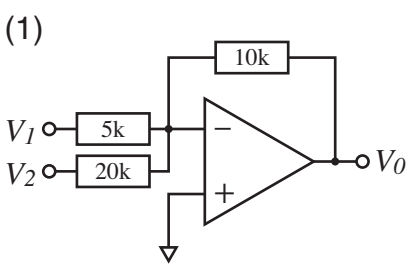
情報通信工学 演習 3

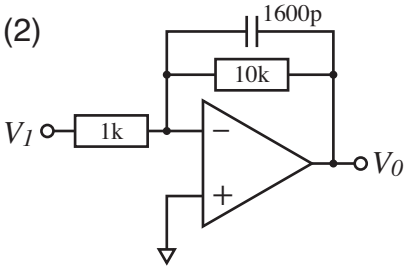
学籍番号： 学籍番号　　氏名： 氏名　　評価： A/B/C

3-1

以下の機能を持つ回路図を描け。なお、抵抗等の各素子の値は適宜与えること。

(1) 二つの入力 V_1、V_2 に対して、出力 $V_0 = -(2V_1 + 0.5V_2)$ が得られる回路。
(2) 直流に対してゲイン −10 で、遮断周波数 10 kHz の LPF。





$C = \dfrac{1}{2\pi R_f f_c} = 1.59 \times 10^{-9}$

なお、抵抗値は数 kΩ〜数十 kΩ 程度で適宜与えること。

問 3-2

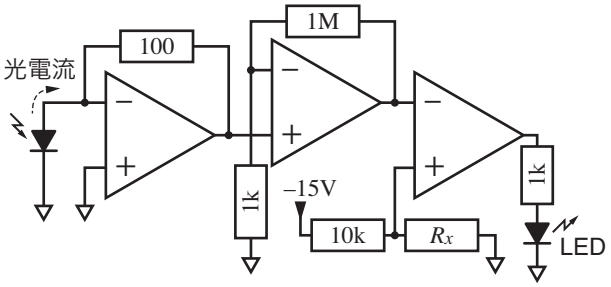
(1) 教科書の図 3.5 の積分回路、および、(2) 図 3.9(a) の微分回路に、角周波数 ω の正弦波電圧 v_1 を入力したとき、入出力振幅比 $\dfrac{|v_0|}{|v_1|}$ を ω、C、R を用いてそれぞれ表せ。ヒント：インピーダンス $Z = R + j\left(\omega L - \dfrac{1}{\omega C}\right)$

(1) 入力抵抗に流れる電流 (=コンデンサに流れる電流) は $I = \dfrac{v_1}{R}$。コンデンサのインピーダンスは $Z = -j\dfrac{1}{\omega C} = \dfrac{1}{j\omega C}$。よって、コンデンサの両端の電圧 (=出力電圧 v_0) は $v_0 = -IZ = -\dfrac{v_1}{j\omega CR}$ となり、$\boxed{\dfrac{|v_0|}{|v_1|} = \dfrac{1}{\omega CR}}$。

(2) コンデンサのインピーダンスは $Z = -j\dfrac{1}{\omega C} = \dfrac{1}{j\omega C}$ であるので、コンデンサに流れる電流 (=帰還抵抗に流れる電流) は $I = \dfrac{v_1}{Z} = j\omega C v_1$。従って、帰還抵抗に生じる起電力 (=出力電圧) は、$v_0 = -IR = -j\omega CR v_1$ となり、$\boxed{\dfrac{|v_0|}{|v_1|} = \omega CR}$。

問 3-3

図は、フォトダイオードの光電流を検出・増幅・比較して、発光ダイオード (LED) を光らせる回路である。光電流が 1.0 μA 以上になったとき LED が光るようにするには、抵抗 R_x を何 Ω にすればよいか。



光電流が 1.0 μA のとき、電流検出アンプ (左側) の出力電圧は $V_1 = -1.0 \times 10^{-6} \times 100 = -100 \times 10^{-6}$ V。
中央の非反転増幅回路のゲインは $1 + \dfrac{1 \times 10^6}{1 \times 10^3} \simeq 1000$ なので、増幅回路の出力電圧は $V_2 = 1000V_1 = -100 \times 10^{-3}$ V。従って、右側の比較器の非反転入力電圧が V_2 となるように R_x を定めればよい。
この電圧は −15 V を 10 kΩ と R_x で抵抗分割して得ているので、$\dfrac{-15R_x}{10 \times 10^3 + R_x} = -100 \times 10^{-3}$、すなわち、$\boxed{R_x = 67\ \Omega}$

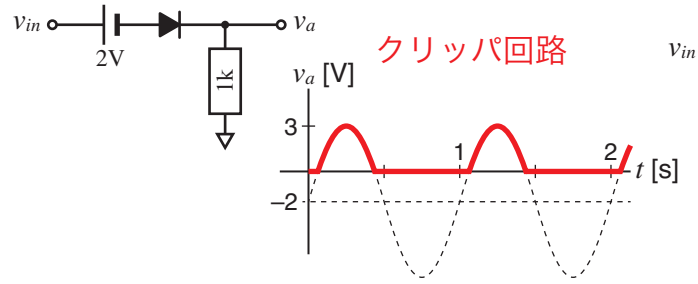
情報通信工学 演習 4

学籍番号： 学籍番号　　氏名： 氏名　　評価： A/B/C

4-1

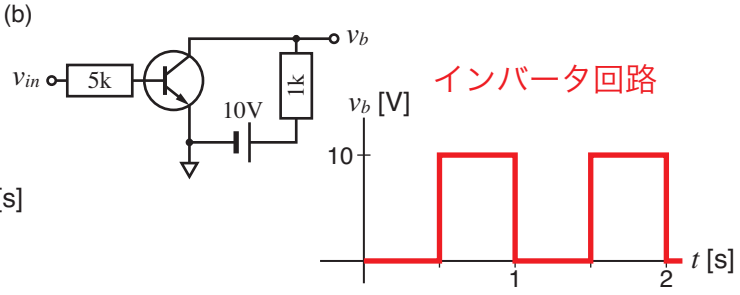
以下の (a) および (b) の回路に、振幅 5 V で 1 Hz の正弦波 v_{in} を入力したときの出力波形 v_a、v_b のグラフを描け。また、それぞれの回路の名前を答えよ。なお、回路中のダイオードやトランジスタは、理想的なスイッチ動作をするものとして考えてよい。

(a)



クリッパ回路

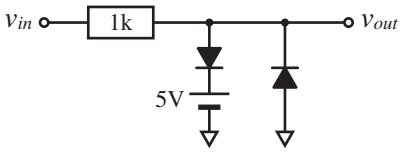
(b)



インバータ回路

問 4-2

ダイオードを用いて、入力電圧を上限電圧 5 V、下限 0 V に制限する回路図を描け。また、このような回路を何というか。



リミッタ回路

問 4-3

ダイオード及びトランジスタを用いて、入力信号が 2.5 V 以上のときは出力が 0 V、2.5 V 以下のときは出力が 5 V となるパルス整形回路を描け。