

前回の復習: 位置の計測:

ある場所からの変位を位置として計測

1. 回転的変位を利用

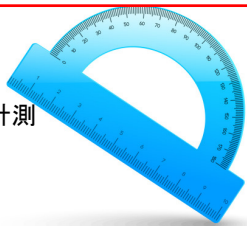
- ロータリエンコーダ
- ポテンシオメータ
- 回転可変・差動トランス

(Rotary Variable Differential Transformer: RVDT)

2. 直線の変位を利用

- リニアエンコーダ
- リニアモーション・ポテンシオメータ
- 直線可変・差動トランス

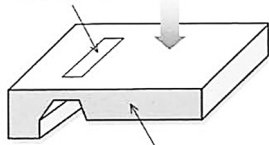
(Linear Variable Differential Transformer: LVDT)



前回の復習: 加速度の計測: ピエゾ抵抗形加速度センサ

ピエゾ抵抗形
ひずみゲージ

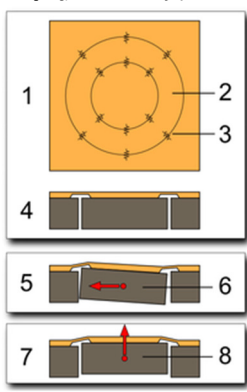
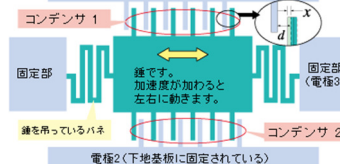
$$F = m \alpha$$



片持ちばり (シリコン基板)

容量変化形加速度センサ

電極1 (下地基板に固定されている)

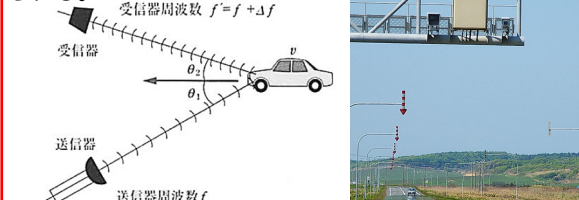


前回の復習: 速度の計測(1): ドップラー効果形センサ

左下図のように速度 v で移動する物体に対して、角度 θ_1 で周波数 f 、波長 λ の電磁波を入射して、物体から θ_2 の角度で出てくる反射波を受信する。このとき受信される周波数のオフセットを Δf とすると、物体の速度 v は、

$$v \cong \frac{\Delta f \cdot \lambda}{\cos \theta_1 + \cos \theta_2}$$

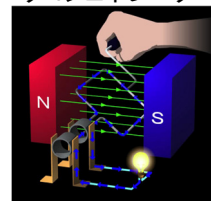
で与えられる。自動車の速度計測や気象観測などに用いられる。



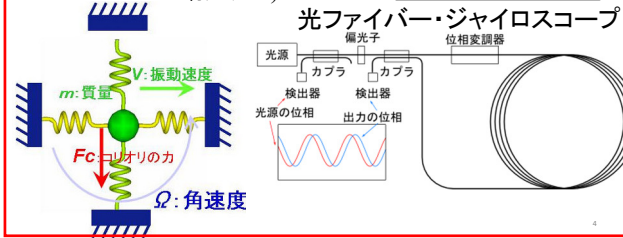
前回の復習: 角速度の計測:

ジャイロスコップ(回転型)

タコジェネレータ



ジャイロスコップ(振動型)

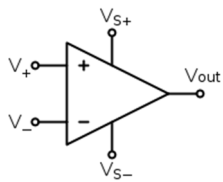


アナログ信号処理: 演算増幅器(オペアンプ)

- アナログ信号処理のコアデバイスの一つ。
- 入力信号の n 倍、加算、微分、積分といった処理が係数のコントロールも含めて正確にできる。
- V_+ と V_- の差が増幅されて出力される。

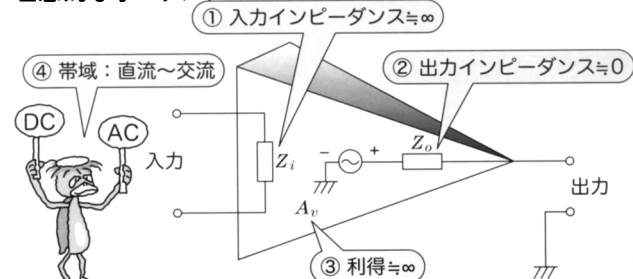
オペアンプの用途:

- 加算・減算回路
- 微分・積分回路
- 発振回路
- フィルター回路
- コンパレータ回路
- センサ回路
- 制御回路
- 変換回路 (電流-電圧変換)



参考書: オペアンプの基礎マスター
(電気書院) ISBN: 9784485610015

理想的なオペアンプ:

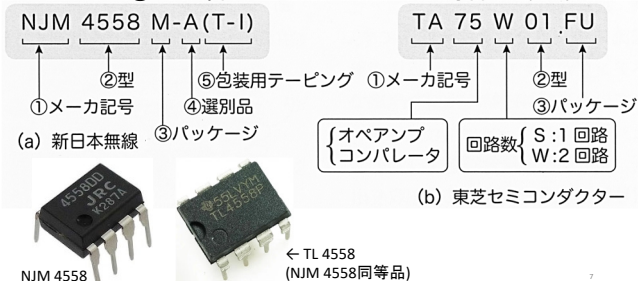


現実のオペアンプ:

- ① 入力インピーダンスは $\infty \Omega$ ではなく、 $10^6 \sim 10^{14} \Omega$ 程度。
- ② 出力インピーダンスは 0Ω ではなく、 100Ω 以下。
- ③ 利得は無限大ではなく、 $10^5 \sim 10^7$ 程度。
- ④ 周波数帯域は無制限ではなく、直流~数十MHz程度。

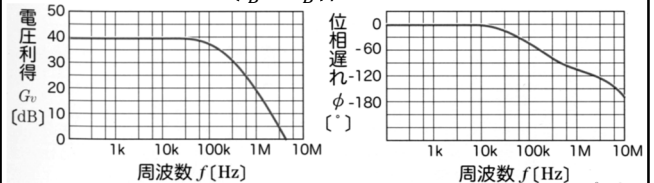
オペアンプの命名法:

メーカー名は、TL, OPA: テキサスインスツルメンツ、AD: アナログデバイス、BD, BA: ローム、LT: リニアテクノロジー、NJM, NJU: 新日本無線、TA, TC: 東芝、HA(旧日立)、 μ PC(旧NEC): ルネサス等がある。また、メーカー名が違ってても左下図②の型番号が同じならほぼ同等品である。



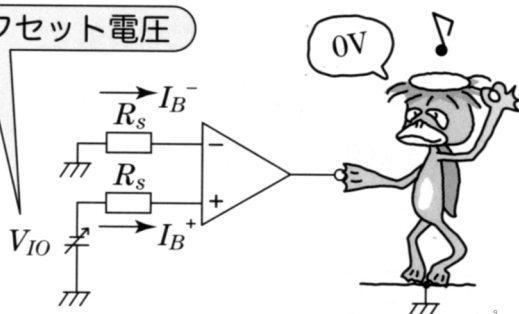
オペアンプの特性:

- 周波数特性(利得と位相): 高周波になると利得が減って位相が遅れる。
- スルーレート: 出力電圧の最大変化速度。大きい程良い。通常は数V/ μ s程度。
- 雑音: 一般的に増幅する信号の周波数が低い程、雑音の影響が大きくなる。
- 入力バイアス電流: 出力が0Vの時の2つの入力端子の入力電流の平均 $(I_B^+ + I_B^-)/2$ 。

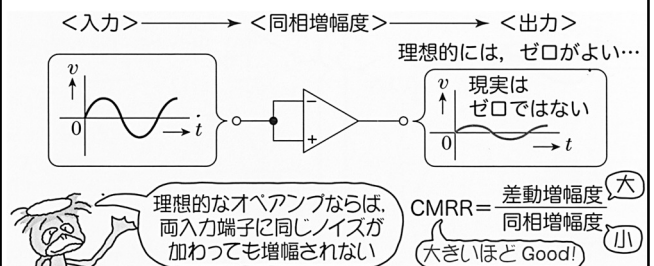


- 入力オフセット電圧: 出力が0Vの時の2つの入力端子間の電位差。
- 入力オフセット電流: 出力が0Vの時の2つの入力端子の入力電流の差 $|I_B^+ - I_B^-|$ 。

オフセット電圧



- CMRR (Common Mode Rejection Ratio): 同相信号除去比ともいう。大きい程良い。一般のオペアンプでは80dB程度。



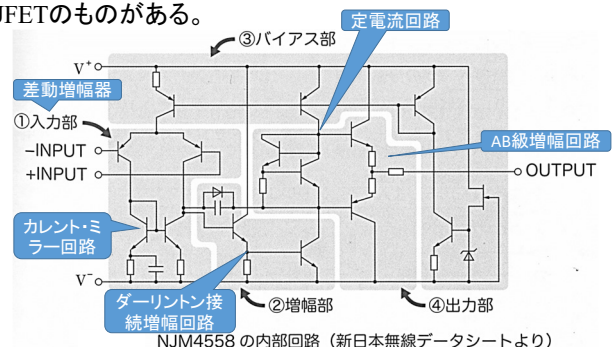
オペアンプの分類:

- 高精度用: オフセット電圧や入力バイアス電流や温度ドリフト等が小さい。測定器など高精度の用途に使う。
- 高速・広帯域用: 高いスルーレートと広い周波数帯域を持つ。画像機器や高速デジタル通信等に使う。
- 低消費電力用: 低消費電流、低電圧で動作する。携帯製品等に使う。
- 低雑音用: 小型電子機器のマイクのアンプ等に使う。
- 高出力用: 大出力電流が得られる。スピーカーアンプ等で使う。
- 汎用: なんにでも使える。 μ A741, NJM4558, TL071等が定番。



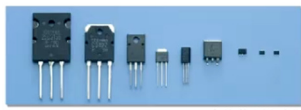
汎用オペアンプの内部構造の例:

±INPUTの電圧差に比例する電流が増幅部で増幅されて、出力される。入力部のトランジスタがバイポーラのものとJFETのものがある。



トランジスタの種類:

トランジスタ



スイッチ機能、信号増幅機能を持つ半導体素子

提供: 株式会社東芝

バイポーラトランジスタ

- P型・N型組合せ
- ・ NPNトランジスタ
 - ・ PNPトランジスタ

用途
アナログ IC、
高周波デバイスなど

電界効果トランジスタ (FET)

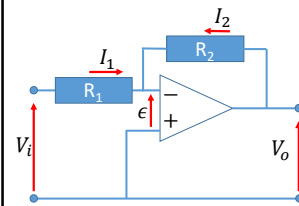
- 構造
- ・ 接合型電界効果トランジスタ (JFET) ----- オーディオ増幅器など
 - ・ MOS型電界効果トランジスタ (MOSFET) ----- LSI 構成デバイスとして幅広く使用

電流の主体 (電子または正孔)

- ・ Nチャネルタイプ
- ・ Pチャネルタイプ

OPアンプ回路例1: 増幅回路

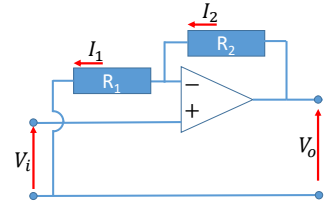
反転増幅回路



$\epsilon = 0$, (仮想短絡)

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 &= 0, \\ \frac{V_i}{R_1} + \frac{V_o}{R_2} &= 0, \\ V_o &= -\frac{R_2}{R_1} V_i, \end{aligned}$$

非反転増幅回路



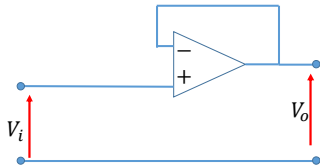
$$\begin{aligned} I_1 &= I_2, \\ \frac{V_i}{R_1} &= \frac{V_o - V_i}{R_2}, \\ V_o &= \frac{R_2}{R_1} V_i + V_i = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_i, \end{aligned}$$

OPアンプ回路例2: インピーダンス変換 (電圧ホロウ)

非反転増幅回路で $R_1 = \infty, R_2 = 0$ とすると、

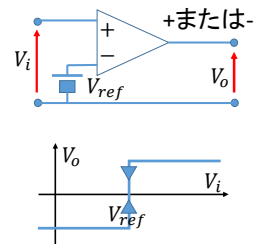
$$V_o = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_i = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_i = \left(1 + \frac{0}{\infty}\right) V_i = V_i,$$

となる。入力インピーダンスは非常に高く、出力インピーダンスは逆に非常に低い。出力インピーダンスが高いセンサー等に付けて出力インピーダンスを下げる様な、バッファ的用途に用いられる。



OPアンプ回路例3: 電圧比較回路

入力電圧 V_i が V_{ref} よりも高ければ、出力電圧 V_o が最高電圧で飽和する。低ければ最低電圧で飽和する。



OPアンプ回路例4: 差動増幅回路

差動増幅器は+ - 端子間の電位差を増幅して出力する。

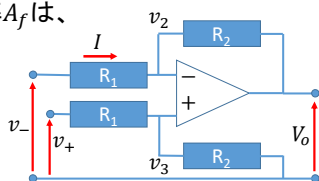
$$\begin{aligned} I &= \frac{v_2 - v_-}{R_1} = \frac{v_0 - v_2}{R_2}, & v_2 &= \frac{R_1 v_0 + R_2 v_-}{R_1 + R_2}, \\ v_3 &= \frac{R_2 v_+}{R_1 + R_2}, & v_2 &= v_3, & \frac{R_1 v_0 + R_2 v_-}{R_1 + R_2} &= \frac{R_2 v_+}{R_1 + R_2}, \\ R_1 v_0 + R_2 v_- &= R_2 v_+, & v_0 &= \frac{R_2}{R_1} (v_+ - v_-), \end{aligned}$$

なので、この回路の増幅率 A_f は、

$$A_f = \frac{R_2}{R_1},$$

となる。

また、差動増幅回路は減算回路としても使える。



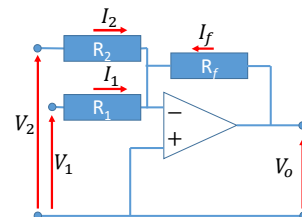
OPアンプ回路例5: 加算回路

反転増幅回路にもう一つ入力を加える。

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1}, \quad I_2 = \frac{V_2}{R_2}, \quad I_f = \frac{V_o}{R_f}, \quad I_f + I_1 + I_2 = 0,$$

$$V_o = R_f I_f = -R_f (I_1 + I_2) = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right),$$

入力ポートを増やしてゆくと複数項の加算が可能。

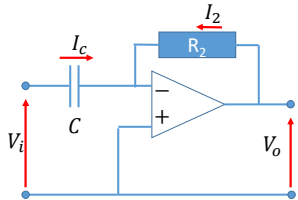


OPアンプ回路例6: 微分・積分回路

微分回路

反転増幅回路で R_1 を C に置換する。

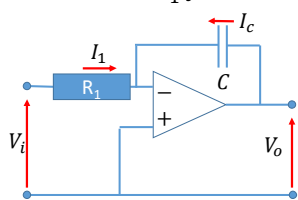
$$\begin{aligned} I_c + I_2 &= 0, \\ C \frac{dV_i}{dt} + \frac{V_o}{R_2} &= 0, \\ \therefore V_o &= -CR_2 \frac{dV_i}{dt} \end{aligned}$$



積分回路

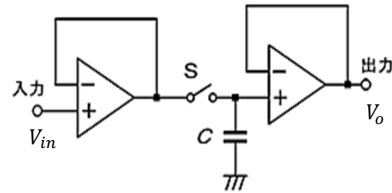
反転増幅回路で R_2 を C に置換する。

$$\begin{aligned} I_1 + I_c &= 0, \\ \frac{V_i}{R_1} + C \frac{dV_o}{dt} &= 0, \\ \therefore V_o &= -\frac{1}{CR_1} \int V_i dt \end{aligned}$$



OPアンプ回路例7: サンプルング回路

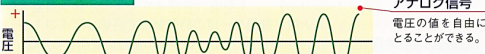
- スイッチSが閉じている間は、出力 V_o =入力 V_{in} となる。
- スイッチSが開くと、そのときにコンデンサCに蓄積されていた電荷が保持され、 V_{in} とは無関係にスイッチが開く直前の電位 V をキープする。
- この間に出力値 V_o よりA/D変換して必要な数値を取得。
- 再びスイッチSが閉じられると出力 V_o =入力 V_{in} となる。



アナログ信号とデジタル信号(Analogue and Digital signal):

- エレクトロニクスが扱う信号にはアナログ信号とデジタル信号がある。
- 自然界の音・光・温度など連続的に変化する情報を電気信号に変換したものがアナログ信号で、それを扱う電子回路をアナログ回路という。

アナログ信号の波形



- 全ての情報を0か1の2進数にしたものがデジタル信号で、それを扱う電子回路をデジタル回路という。コンピュータなどの信号はデジタル信号である。

デジタル信号の波形



デジタル信号処理: 現代の計測の主流

- 利点
 - 表現精度がビット数でスケラブル。
 - 同じ特性を実現可能。
 - Central Processing Unit: CPU, Digital Signal Processor: DSP, Field-Programmable Gate Array: FPGA などの電子デバイスにより多彩な処理が可能。
 - 集積化・システム化が容易。
 - デジタル通信・ストレージとの相性が良い。
- 欠点(注意点)
 - 量子化誤差に注意。
 - サンプルング周波数に注意。
 - 過大負荷になると処理速度が間に合わない可能性。

アナログ/デジタル間信号処理: 整数

- A/D(Analog \Rightarrow Digital)変換、D/A変換
- 符号無し整数 N ($0 \sim 2^n - 1$)の n ビットデジタル量 (b_{n-1}, \dots, b_0)での表現(b は0または1)

$$N = b_{n-1}2^{n-1} + \dots + b_12^1 + b_02^0 \equiv (b_{n-1}, \dots, b_0),$$
 4ビット例: $0=(0000), 7=(0111), 8=(1000), 15=(1111)$
- 符号付き整数 M ($-2^{n-1} \sim 2^{n-1} - 1$)の n ビットデジタル量 (b_{n-1}, \dots, b_0)での表現

$$M = -b_{n-1}2^{n-1} + b_{n-2}2^{n-2} + \dots + b_12^1 + b_02^0,$$
 4ビット例: $0=(0000), 7=(0111), -8=(1000), -1=(1111)$

アナログ/デジタル間信号処理: 小数

- 符号無し小数 D ($1 > D \geq 0$)の n ビットデジタル量での表現

$$D = \frac{b_{n-1}}{2^1} + \dots + \frac{b_1}{2^{n-1}} + \frac{b_0}{2^n} = \frac{N}{2^n},$$
 4ビット例: $0=(0000), \frac{7}{16}=(0111), \frac{1}{2}=(1000), \frac{15}{16}=(1111)$
- 符号付き小数 C ($1 > C \geq -1$)の n ビットデジタル量での表現

$$C = -b_{n-1} + \frac{b_{n-2}}{2^1} + \dots + \frac{b_1}{2^{n-2}} + \frac{b_0}{2^{n-1}} = \frac{M}{2^{n-1}},$$
 4ビット例: $0=(0000), \frac{7}{8}=(0111), -1=(1000), -\frac{1}{8}=(1111)$

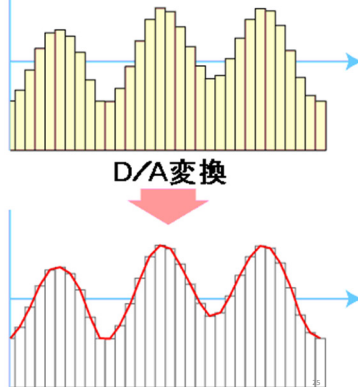
アナログ/デジタル間信号処理:

- A/D変換: (最大)基準電圧 V_r とアナログ入力電圧 V_i の比を符号無し小数 D のデジタル量として出力

$$D = \frac{V_i}{V_r}$$

- D/A変換: (最大)基準電圧 V_r をもとに小数 D のデジタル量からアナログ出力電圧 V_o を生成

$$V_o = V_r D$$

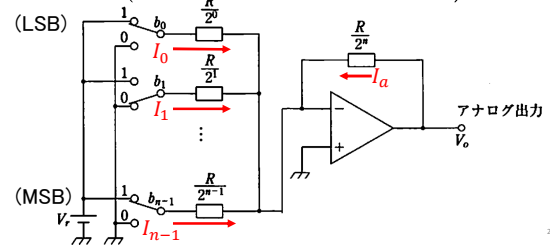


D/A変換器1(重み付き加算方式): オペアンプは加算器として働く。使用する抵抗の種類が多いため精度は悪い。

$$I_j = \frac{V_r b_j}{R/2^j} = \frac{2^j V_r b_j}{R} \quad (j = 0 \sim n-1), \quad I_a = \frac{2^n V_o}{R},$$

$$I_a + I_{n-1} + I_{n-2} + \dots + I_1 + I_0 = 0,$$

$$\therefore V_o = -V_r \left(\frac{b_{n-1}}{2^1} + \frac{b_{n-2}}{2^2} + \dots + \frac{b_1}{2^{n-1}} + \frac{b_0}{2^n} \right) = -V_r D,$$

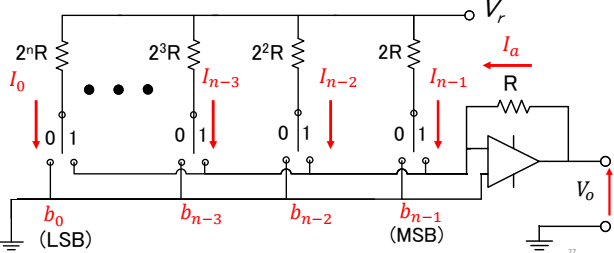


D/A変換器2: D/A変換器1を少し変更したもの。

$$I_j = \frac{V_r b_j}{2^{n-j} R} \quad (j = 0 \sim n-1), \quad I_a = \frac{V_o}{R},$$

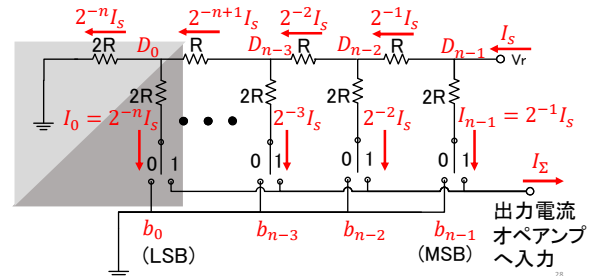
$$I_a + I_{n-1} + I_{n-2} + \dots + I_1 + I_0 = 0,$$

$$V_o = -V_r \left(\frac{b_{n-1}}{2^1} + \frac{b_{n-2}}{2^2} + \dots + \frac{b_1}{2^{n-1}} + \frac{b_0}{2^n} \right) = -V_r D,$$



はしご形R-2R方式: n 種類の倍々の抵抗を用意する代わりに2種類の抵抗(R と $2R$)だけで、D/A変換器2の左部分と同等の回路を構成する。精度が良い。

D_0 点から見て、左側と下側の抵抗がそれぞれ $2R$ となっているので、 D_0 点において、右から流れてくる電流が左と下にそれぞれ $1/2$ づつ流れる。

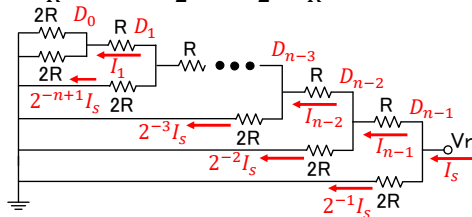


また、 D_0 点から見て左と下は $2R$ の抵抗が並列に繋がっているの、合成すると、

$$\left(\frac{1}{2R} + \frac{1}{2R} \right)^{-1} = R,$$

となる。従って、右隣の D_1 点から見て左側と下側の抵抗は、やはりそれぞれ $2R$ となる。以下同様にして、

$$I_s = \frac{V_r}{R}, \quad I_j = \frac{I_s b_j}{2^{n-j}} = \frac{V_r b_j}{2^{n-j} R}, \quad (j = 0 \sim n-1)$$



となる。これは、D/A変換器2の I_j と同じなので、

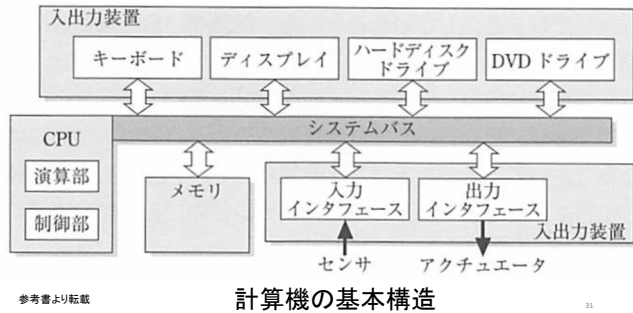
$$I_a = \frac{V_o}{R}, \quad I_a + I_0 + I_1 + I_2 + \dots + I_{n-1} = 0,$$

$$V_o = -V_r \left(\frac{b_{n-1}}{2^1} + \frac{b_{n-2}}{2^2} + \dots + \frac{b_1}{2^{n-1}} + \frac{b_0}{2^n} \right) = -V_r D,$$

となる。

次回の予告: デジタル計測制御システムの基礎

- 中央処理装置 (CPU: Central Processing Unit)
- 主記憶装置 (メモリ)
- 入出力装置 (I/O)
- バス



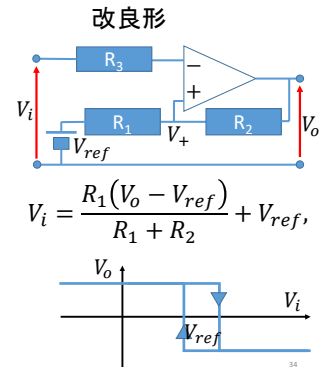
参考書より転載

コンピュータの基本構造

31

(参考) OPアンプ回路例3: 電圧比較回路

改良形は、 V_{ref} の近傍で激しく出力が変わるのを防ぐため、ヒステリシス特性を持たせている。



34