

計測工学II

【第4回】 アナログ信号の処理

今日の内容

- アナログ信号の処理
- ブリッジ回路、増幅回路、負帰還回路、演算増幅器の回路、差動増幅、同相弁別比、受動フィルタ、能動フィルタ、ロックイン増幅器などについて学習する。
- 教科書では、P218～P228です。

微弱な信号の処理

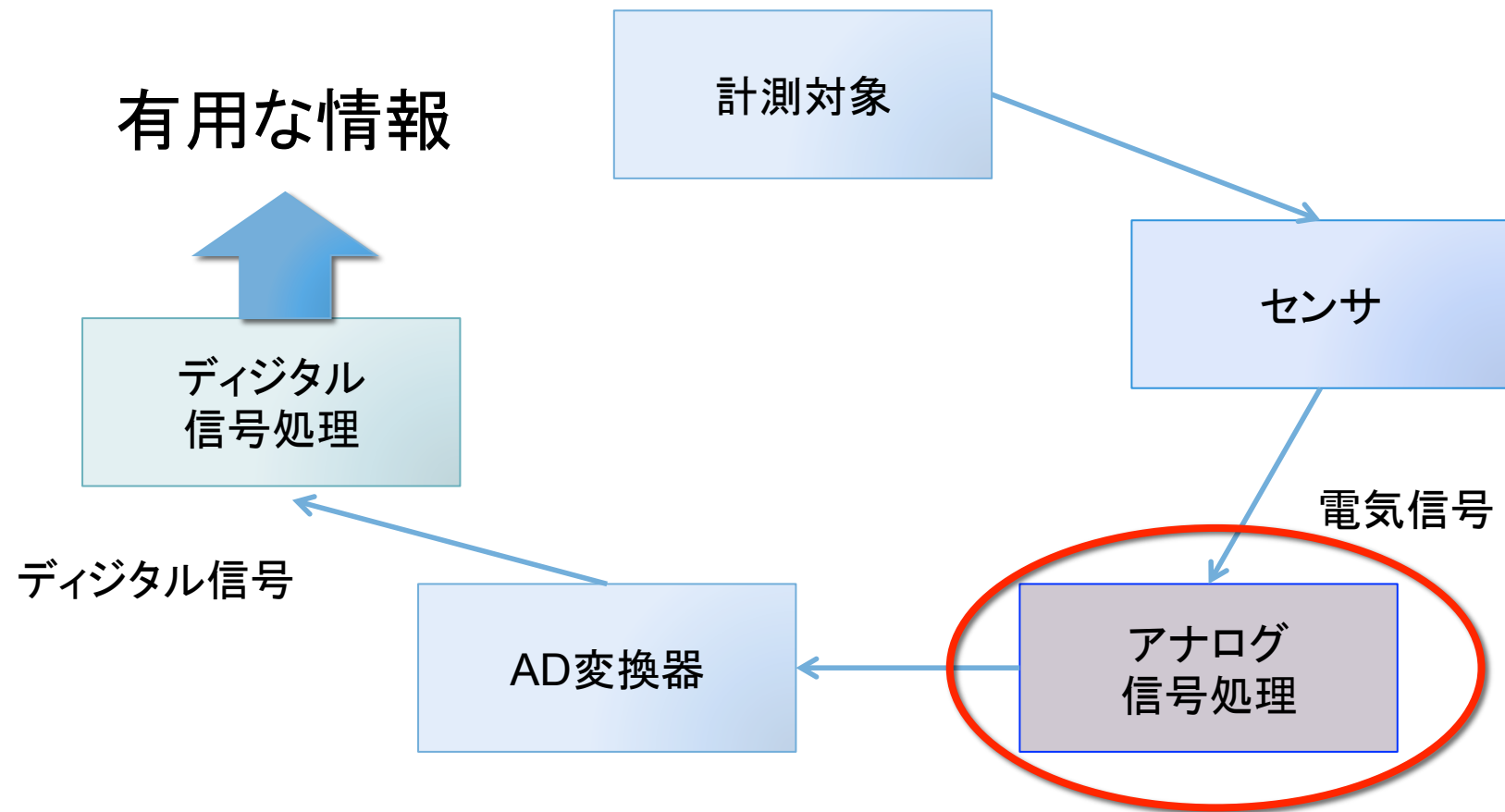
- 生体の電気信号は微弱
- 心電図の信号レベル: 1mV前後
- 脳波の信号レベル: 数 μ V $\sim$ 300 μ V
- 筋電図の信号レベル: 10 μ V $\sim$ 15mV
 - 標準テキスト(旧版) P440
- AD変換器の例: ± 5 V、12bit精度(4096等分)
 - デジタル値の「1」は、約2.5mV
 - $\rightarrow$ 信号レベルが小さすぎて、AD変換してもフラットになる。
 - (筋電図の場合で、0 $\sim$ 6まで触れるか?)
- 計算方法はわかりますね?

微弱な信号を強くする回路

- 増幅回路を用いる （教科書P219）
- 予め、「測定したい信号」を、「AD変換可能な信号」に増幅する。
- 以下の信号を、それぞれ何倍すれば良いか計算してみよう
 - 心電図の信号レベル： 1mV前後
 - 脳波の信号レベル： 数 μ V $\sim$ 300 μ V
 - 筋電図の信号レベル： 10 μ V $\sim$ 15mV
- 但し、AD変換器は ± 5 Vのレンジを持っているとする。

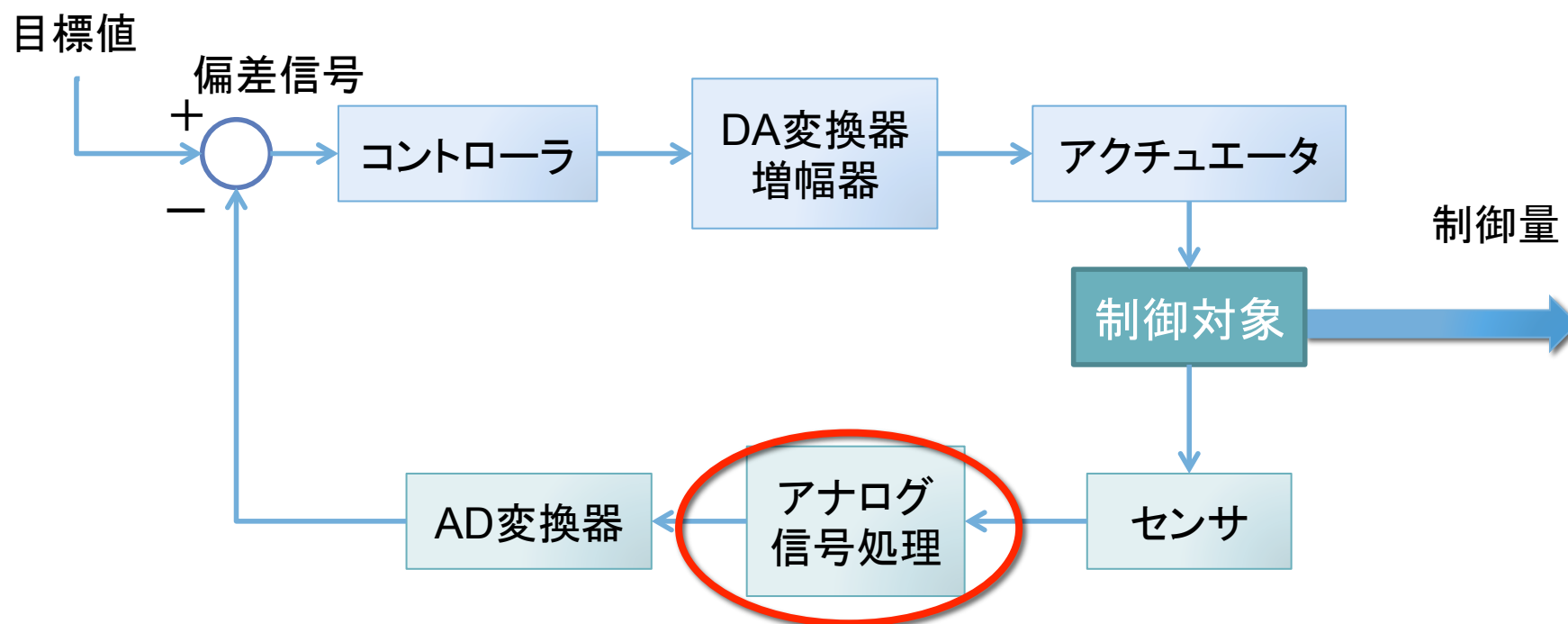
計測システムの構成(第1回再掲)

- 教科書 P248



広義の計測システム(第1回再掲)

- 教科書P248



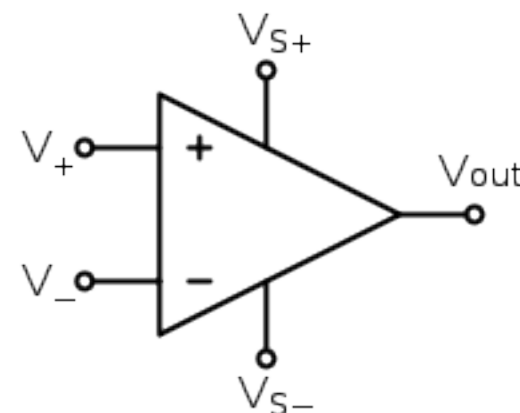
演算増幅器

- Operational Amplifier (オペアンプ)

- 教科書P219

$$(V_+ - V_-)A = V_{out}$$

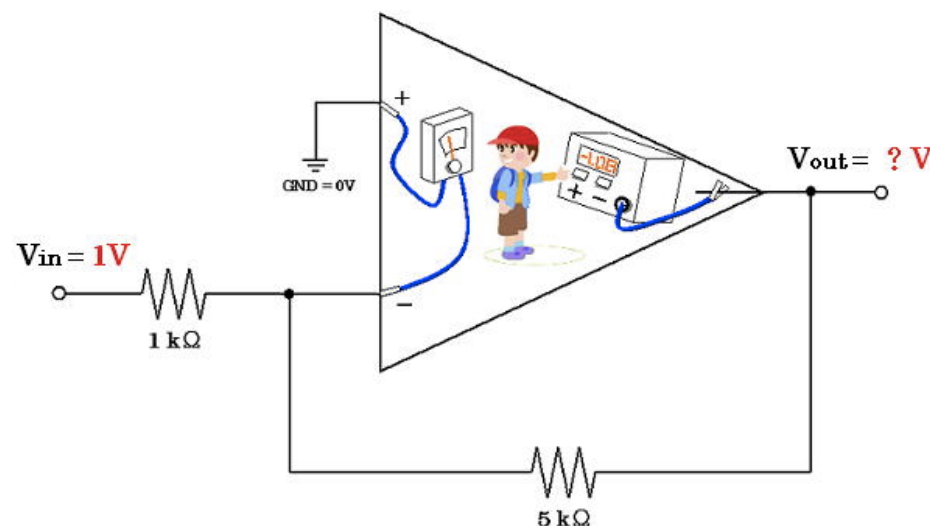
- 出力電圧 V_{out} は、電源電圧を超えない。



- 増幅率 A は、一般的に $10^5 \sim 10^8$ であるが、増幅率が大きすぎて単純に信号増幅に用いると飽和するため、**負帰還増幅回路**を構成して用いる。
 - Q:「なぜ、負帰還増幅回路を使うのか」という問いの答えです。

イマジナリ・ショート

- 教科書P219
- オペアンプは、反転入力端子と非反転入力端子の電位差が0Vとなるように、出力電圧を調整する。
- この結果、 $V+$ と $V-$ の端子間は仮想的(imaginary)にショートしているように見える。



<http://www.kairo-nyumon.com/opamp1.html>

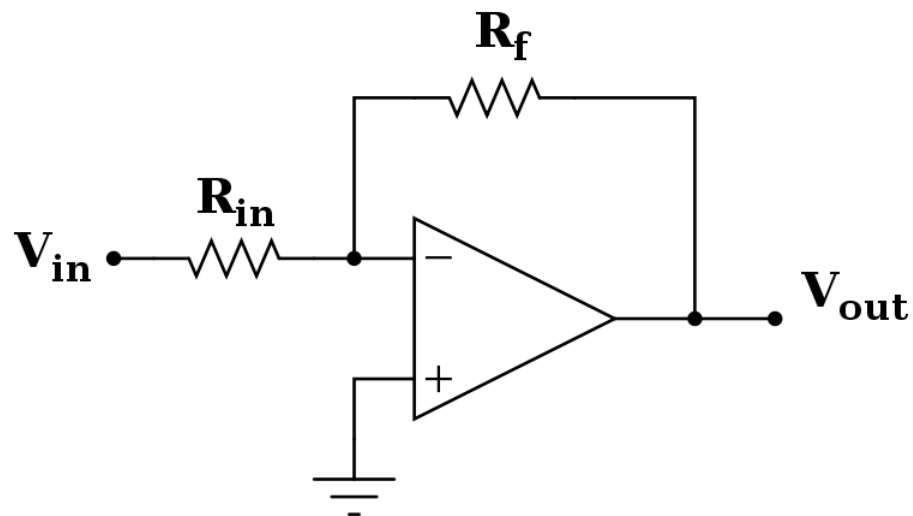
とてもわかりやすいサイトです。是非、このページを訪ねてみて下さい。

負帰還増幅回路

- 負帰還増幅の増幅率
 - イマジナリ・ショートを利用して式を立てる。
- 教科書P220

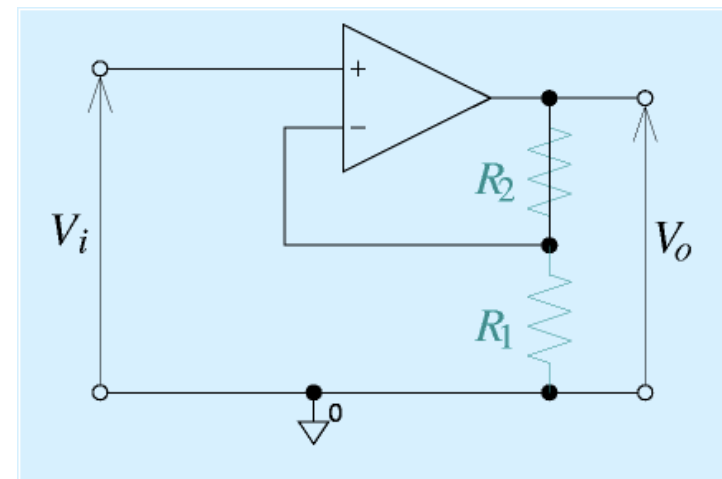
$$I_{in} = \frac{V_{in}}{R_{in}} = -I_{out} = -\frac{V_{out}}{R_f}$$

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_{in}} V_{in}$$



ボルテージフォロワ (Voltage Follower)

- 非反転増幅回路で、 $R_{in} \rightarrow \text{無限大}$ 、 $R_f \rightarrow 0$ の回路とする。
 - 絶縁: 断線 $R \rightarrow \text{無限大}$
 - ショート: 配線 $R \rightarrow 0$
 - という考え方に慣れて下さい。
- 増幅率は1
 - 但し、入力インピーダンス $\rightarrow \infty$
 - 出力インピーダンス $\rightarrow 0$
- という特性を得ることができる。



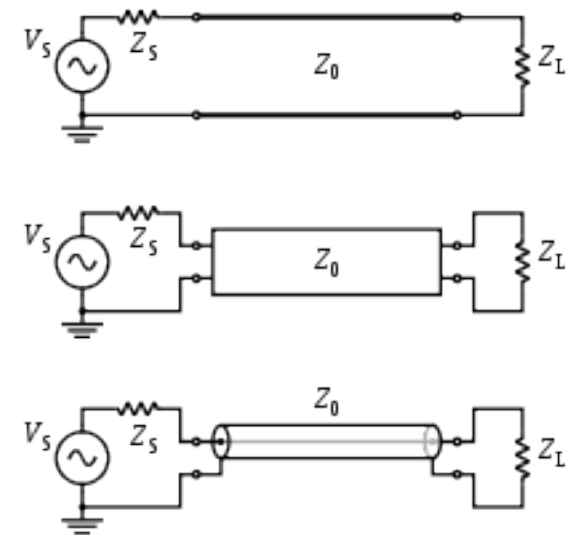
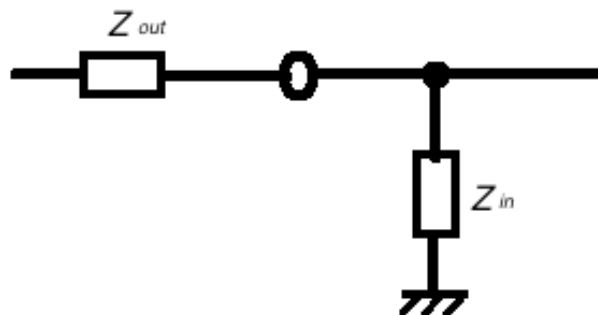
- 標準テキスト 新版P175 旧版P207

<http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp/rde/contents/course/mechatronics/analog.html>

他大学のサイトですが、とてもわかりやすく説明がまとまっています。

インピーダンス整合

- 教科書 P221
 - 伝送路では、信号源の出力インピーダンスと、負荷側(次の段の入力)回路の入インピーダンスとの整合(マッチング)がとれていないと、信号が「反射」したり、負荷でほとんど消費されたりして、うまく次の段につながらない。
- 前段の出力インピーダンスと、後段の入インピーダンスの「整合」をとる。



画像引用元: Wikipedia
但し、「伝送線路」で検索

伝送エネルギーの計算

- 前段の出力を V , 後段の入力を V_{in} として、後段が受け取るエネルギーが最大となる Z_{in} と Z_{out} の関係を求める。

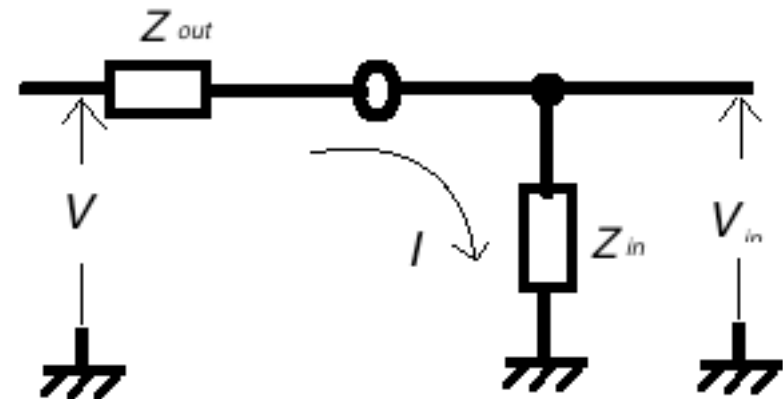
- $Z_{in}=Z_{out}$ の時に、 P は最大になる。 $(Z_{in}$ で微分)

$$P = I \cdot V_{in}$$

$$I = \frac{V}{Z_{out} + Z_{in}}$$

$$V_{in} = V \frac{Z_{in}}{Z_{out} + Z_{in}}$$

$$P = V^2 \frac{Z_{in}}{(Z_{out} + Z_{in})^2}$$

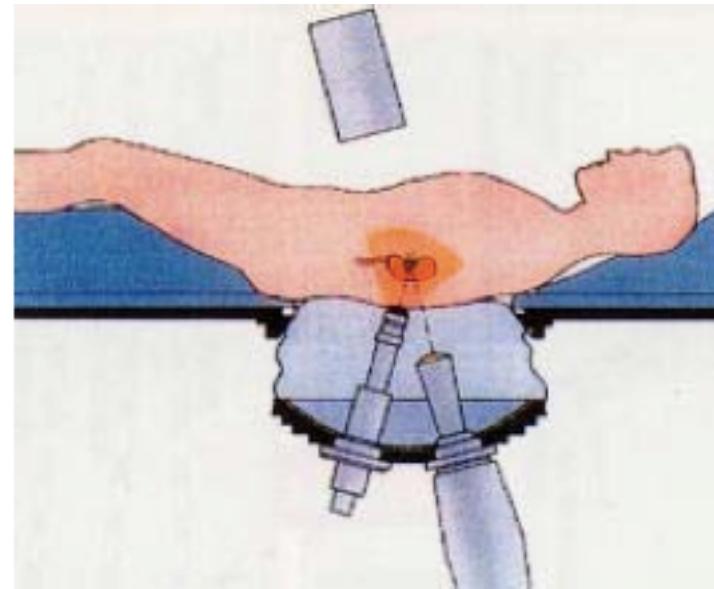


参考ページ: 考え方がわかりやすく説明されているサイトです。

http://www.geocities.co.jp/HeartLand-Tachibana/9059/otasuke/impi_match.htm

様々な現象のインピーダンス整合

- 超音波結石破碎装置
- 音響インピーダンスの整合
 - 体と同程度の音響インピーダンスにするために、カップリングを行う。
 - メンブレン型(ウォータバッグなどをあてる)タイプ
 - バスタブ型(全身を水の中に入れる)タイプ
 - 「医用治療機器学」参照



生体の電気インピーダンス

- 水分の少ない皮膚: 1mS/cm 以下
- 筋肉や神経、赤血球などで数～数 10mS/cm 程度
 - 標準テキスト: 新版 P237、旧版 P241
- 伝導率に、断面積を乗じて長さで割るとコンダクタンス(抵抗の逆数)が求められる。
 - 仮に伝導率を 10mS/cm として、太さ 50cm^2 , 長さ 50cm (腕)のインピーダンスを計算すると・・・！？
- 腕、体など部位によって、だいたい数十 Ω ～数百 Ω
- 周波数、組成(筋肉か脂肪か)によって異なる値を示す。

生体計測の入カインピーダンス

- 生体自体のインピーダンスは低値ですが、計測システムの入力ではCの影響を考慮します。
- この結果、入カインピーダンスは
 - 心電図: $2\text{M}\Omega$ 以上
 - 脳波: $5\text{M}\Omega$ 以上
 - 筋電図: $20\text{M}\Omega$ 以上
- になります。

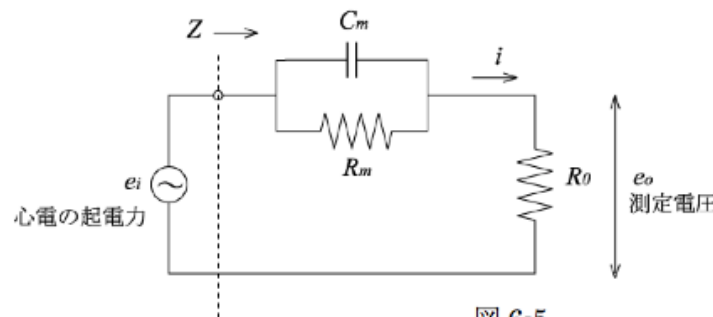
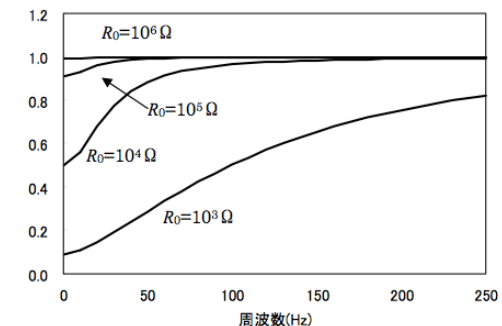


図 6-5

e_i : 心臓の起電力

e_o : 測定電圧

C_m : 生体の静電容量 $\sim 1\mu F$

R_m : 生体の抵抗 $\sim 10k\Omega$

Z : 電源側から見た系全体のインピーダンス

i : 系に流れる電流

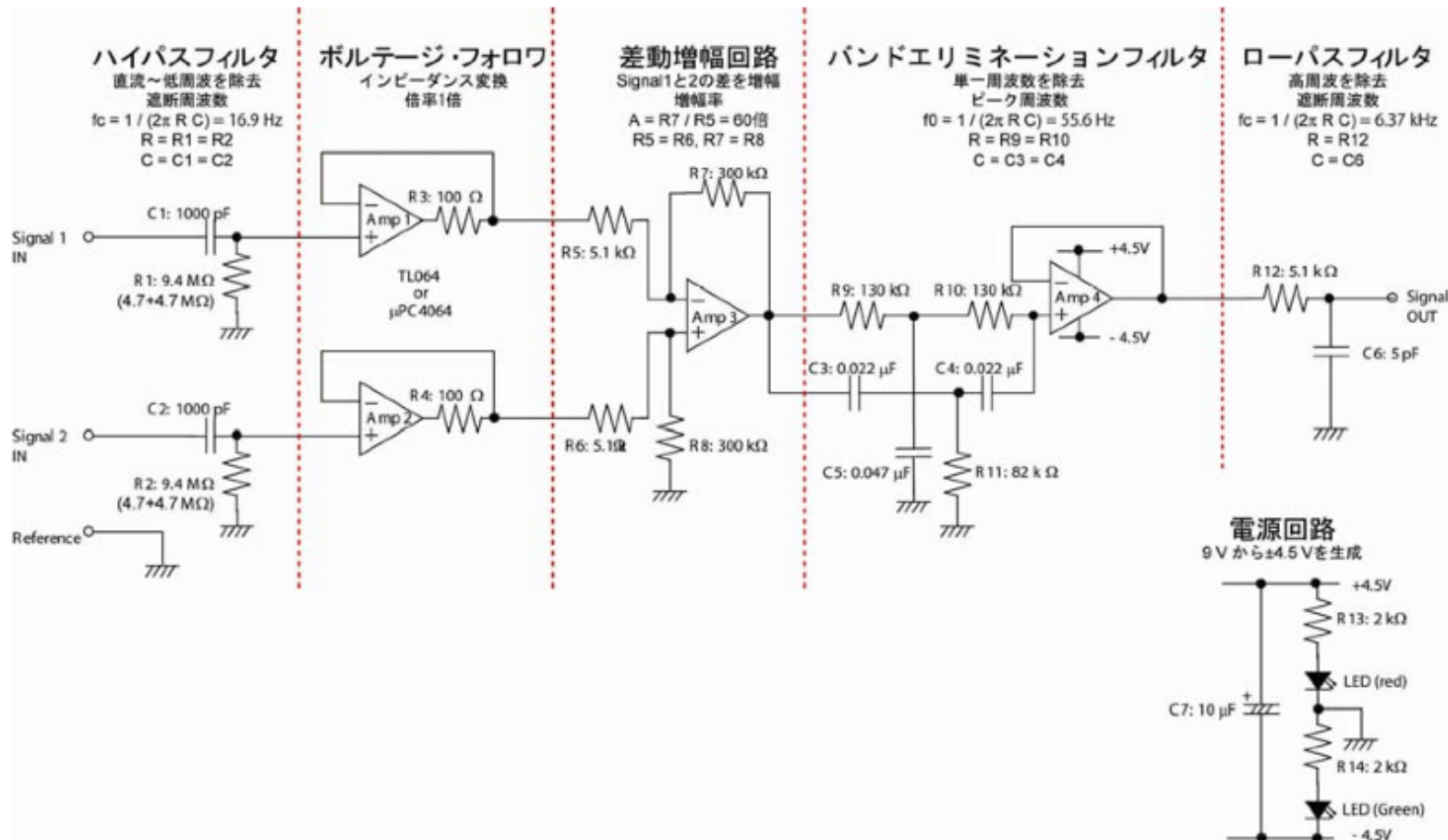
R_0 : 測定器の負荷抵抗 (電圧計の内部抵抗)

http://www.hosp.u-toyama.ac.jp/clla/seiri/qt_all/qt1_kiso.html

<http://www.eonet.ne.jp/~hidarite/me2/keisokugenri03.html>

生体信号計測回路の例

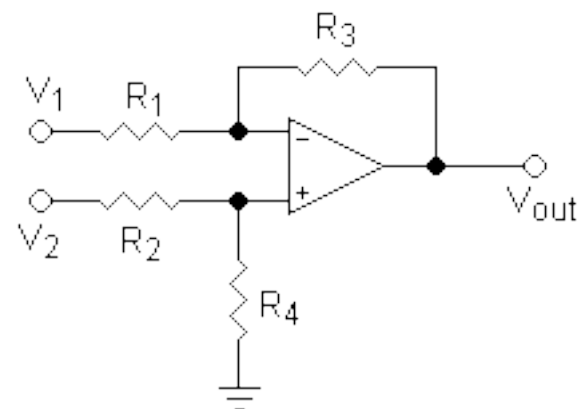
- 回路全体の構成



東京大学先端研: <http://invbrain.neuroinf.jp/static/moth/EMG-tool.pdf>
内山明治、村野靖”絵ときでわかるオペアンプ回路”, オーム社, 2000

差動増幅回路

- 原則として $R_1=R_2$, $R_3=R_4$ の条件で用いる。
- 各入力にさらに非反転増幅回路(バッファアンプ)を設けた回路をインストルメンテーション・アンプと呼び、計装用(工業用計測回路)に用いられる。
 - 計装アンプとも言います。
 - 使いやすいのでよく使われています。



$$V_{out} = \frac{R_3}{R_1} (V_2 - V_1)$$

同相弁別比(CMRR)

- Common Mode Rejection Ratio
- 同相信号除去比
- 同相入力増幅率に対する差動入力増幅率のdB表記
- 信号源に後から加わる雑音は、両方の配線に「同相」で入って来る。
- 「差動」増幅なら、この「同相信号」を除去できる。

$$\text{CMRR} = 20 \log_{10} \left(\frac{A_d}{|A_{cm}|} \right)$$

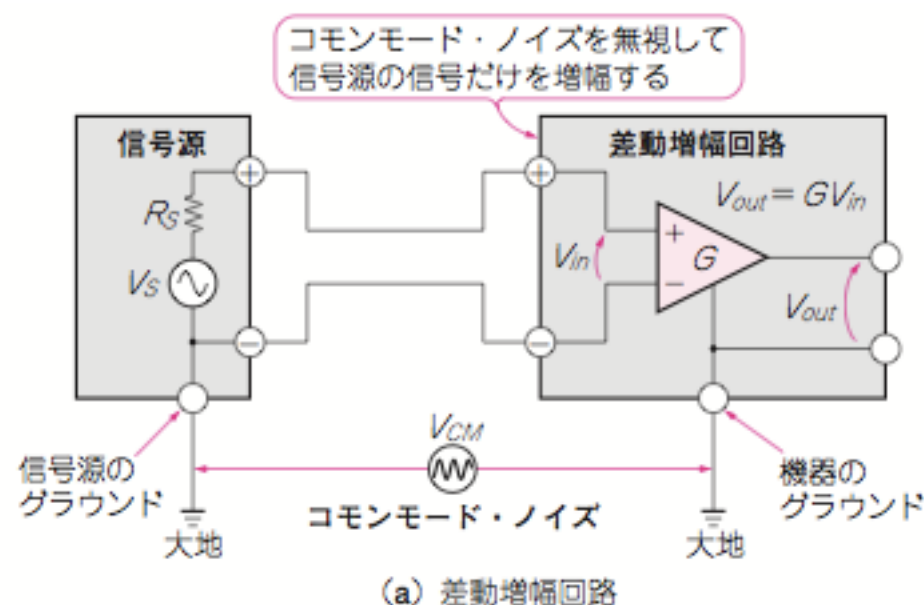


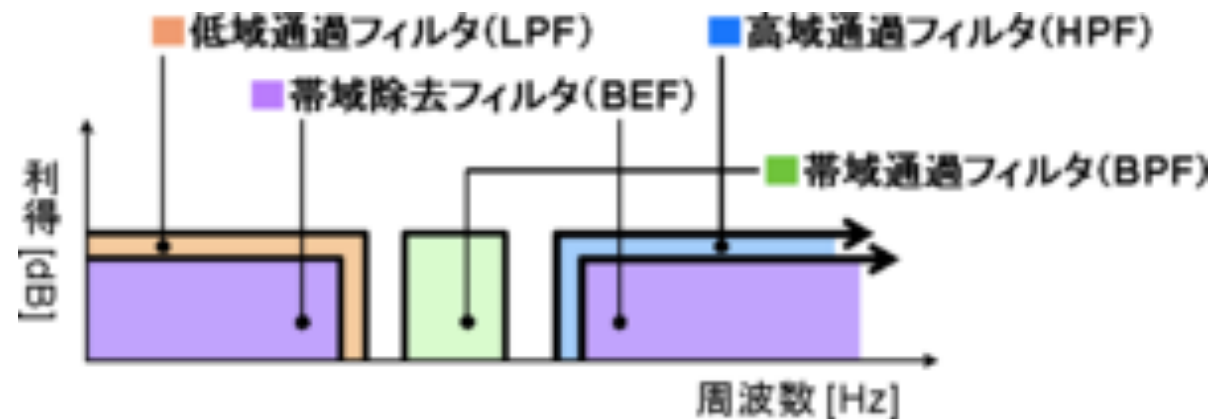
図4-1 入力信号の差動成分だけを取り出して同相成分を除去する

<http://toragi.cqpub.co.jp/Portals/0/backnumber/2012/05/p091.pdf>

図引用元: 特集 ホントに使える電子回路教科書

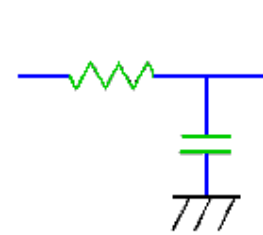
ここからフィルタの話です。

- アンプは、信号レベルを増幅します。
- フィルタは、特定の周波数帯域を通す(遮断する)働きをします。

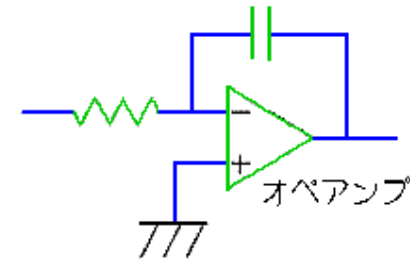


アクティブ回路とパッシブ回路

- パッシブ回路（受動回路）
 - 抵抗・コンデンサ・コイルなど受動素子で構成
- アクティブ回路（能動回路）
 - トランジスタ
 - オペアンプなどの能動素子で構成



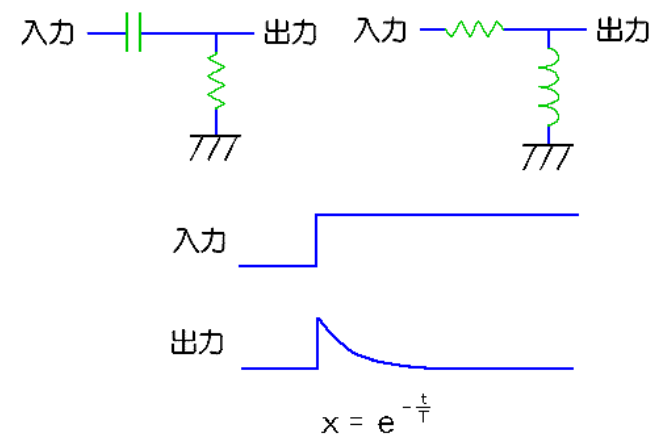
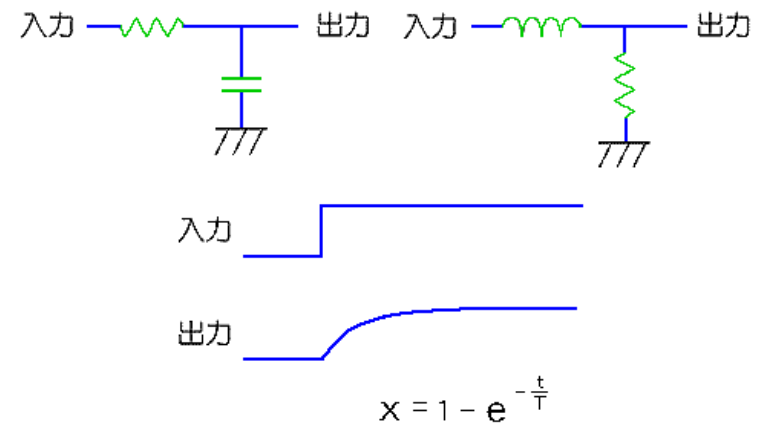
(a) パッシブ回路



(b) アクティブ回路

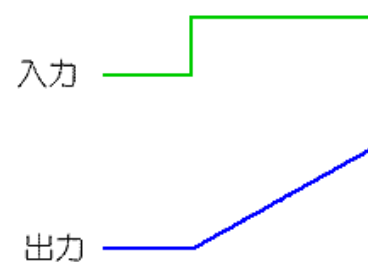
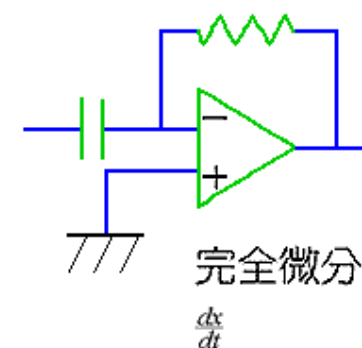
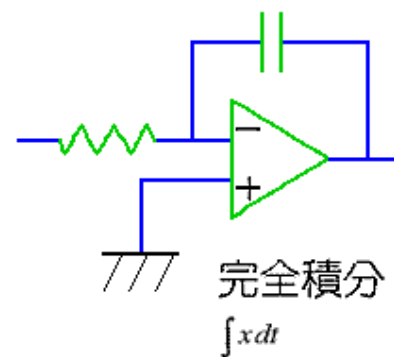
受動素子の欠点

- 理想的なキャパシタンス、インダクタンスは存在しない。
 - 抵抗ゼロのコイルは存在しない。
 - プリント基板には「浮遊容量」が存在する。
 - コンデンサにも「抵抗成分」がある。
- 周波数の限界で、予想外の動作をする。
- パッシブ回路で構成
 - 不完全積分回路
 - → 低域濾過回路
 - 不完全微分回路
 - → 高域濾過回路

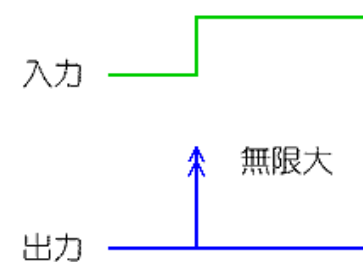


能動素子で構成する

- 完全微分回路と完全積分回路
 - 教科書P226



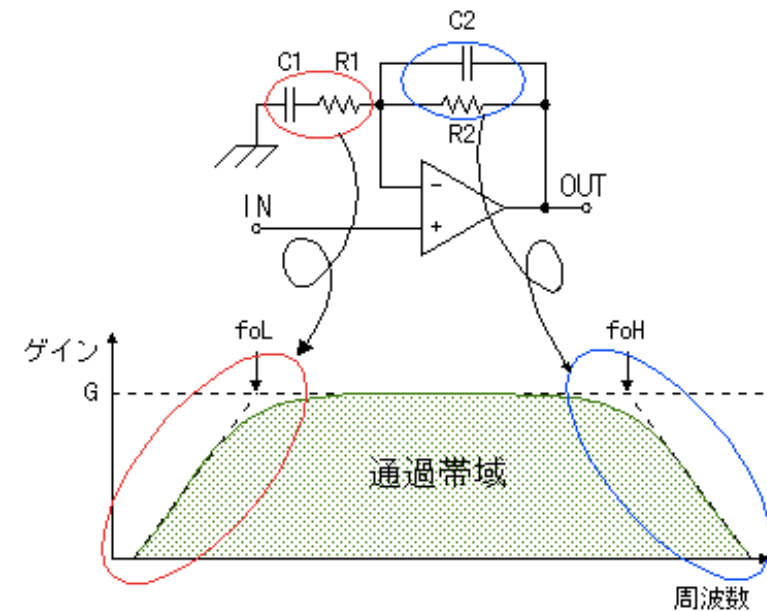
(a) 積分特性



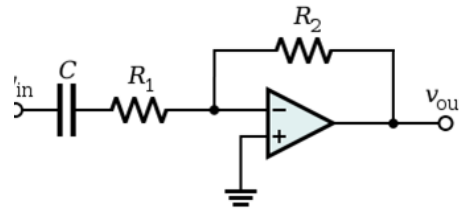
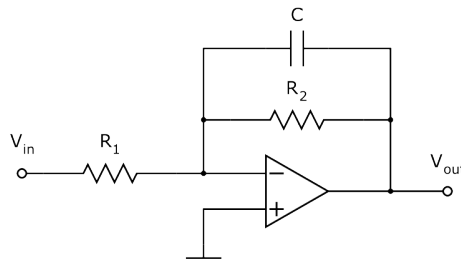
(b) 微分特性

オペアンプで構成するフィルタ

- 帰還回路にCが入るのが低域濾過フィルタ
- 直列にCが入るのがハイパスフィルタ
- 両方を組み合わせて、バンドパスを構成できる。



http://www.piclist.com/images/www/hobby_elec/pyro1_31.htm



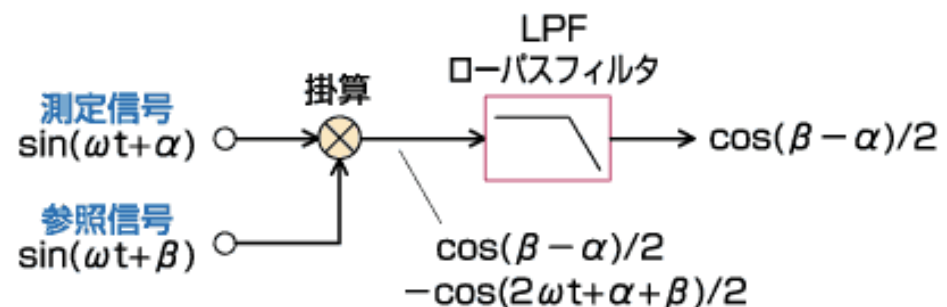
画像引用元: Wikipedia

定期試験の出題予告

- 以下の問題は、いずれかを出題するかも知れません。
 - オペアンプを用いた積分回路を書け。
 - オペアンプを用いた微分回路を書け。
 - オペアンプを用いた低域濾過フィルタを書け。
 - オペアンプを用いた高域濾過フィルタを書け。
 - 受動素子で構成する低域濾過フィルタを書け。
 - 受動素子で構成する高域濾過フィルタを書け。
 - 以下(能動か受動)の低域濾過回路の遮断周波数を求めよ
 - 以下(能動か受動)の高域濾過フィルタの遮断周波数を求めよ。

ロックイン増幅器

- 教科書 P226
- ロックインアンプは、増幅(アンプ)機能と特定信号検出(ロックイン)機能を併せ持ったアンプです。
- ロックインアンプ 最大の特徴は、特定の周波数の信号を検出して増幅させることにあります。
- ロックインアンプは、入力される信号の中から、検出したい信号だけを取り出すため、「参照信号」を使用します。



<http://www.toyo.co.jp/sr/what/>

http://www.nfcorp.co.jp/techinfo/keisoku/noise/li_genri1.html

今日のまとめ

- 微小な信号レベルを測定するために、増幅回路が用いられる。
- 増幅回路やフィルタなどには、演算増幅器(オペアンプ)の回路がよく用いられる。
 - 回路どうしを接続する際には、インピーダンス整合をとる必要があり、この整合がうまくとれないと信号が得られない。
- 差動増幅回路は、同相雑音を除去するのによく用いられる。
- 受動素子を用いたフィルタ回路は「微分・積分」回路としては完全な動作をしないが、能動素子を用いた微分・積分回路は数学的な微分・積分信号を出力できる。
- 特定の周波数の信号を抽出するのにロックインアンプが用いられる。

次回予告 【第5回】流体の測定

- シラバスから
- ピトー管、熱線流量計、レーザードップラ流量計、差圧式流量計、面積式流量計、電磁流量計、超音波流量計、流れの可視化、粒子画像流速計測法などについて学習する。
- 今日の範囲は、教科書P88～P104です。