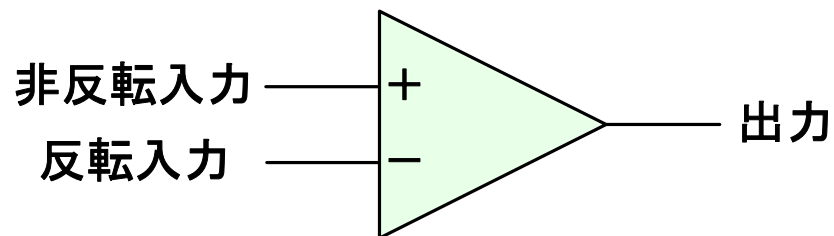


オペアンプとは

オペアンプとは Operational amplifier の略称で、演算増幅器とも呼ばれます。中身は、**アナログ回路の半導体集積回路 IC** です。

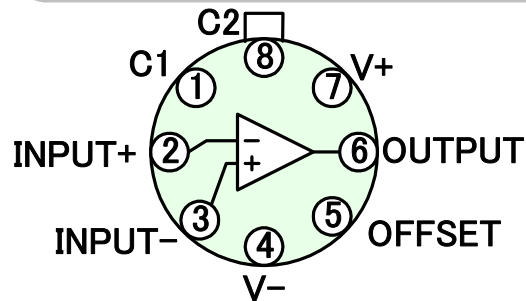
オペアンプを、回路図で描くと**三角形で、描かれます**。通常左側に 垂直な辺を持って来て右側に、尖った角を持ってきます。左側に、**＋と、－の2入力**があります。**右側の角が、出力**となります。**＋入力が非反転入力**と呼び、**同相信号が出力に現れます**。**－入力が反転入力**と呼び、**逆相信号が出力に現れます**。通常の NFB ネガティブ フィードバックをかける時は、**出力から、－入力に接続**します。



オペアンプは **一つのパッケージに、1個**または2個または、**4個** 入っています。通常の汎用オペアンプは、**8ピンのパッケージに 2個**入った物が多いです。オペアンプ1個の場合も、**8ピンのパッケージに入ってます**。**初期のオペアンプは 1個の物が多く** オフセット電圧調整の端子とかが、付いていました。今は、オフセット調整が必要なほど、出力電圧がずれないので、オフセット端子を外して、8ピンで、2個入れられるようになったと思われます。因みに **4個入りのパッケージは、DIP14ピン**です。**8ピンの物は、最初平たい円筒形のメタルキャンパッケージ**でした。で、**1回路入り**が多かった気がします。

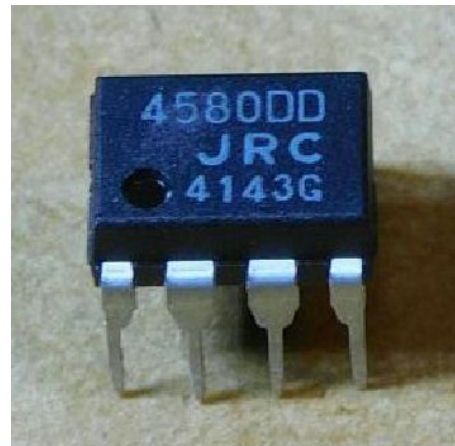
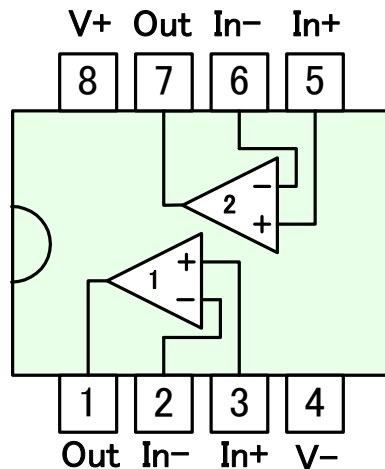
その後、**DIP8ピンパッケージ**が主流になって来ました。その後は、DIPを小型化して表面実装出来る 1/2サイズの **SIP 8ピンパッケージ**に変わってきました。更に 小型の物もあります。

オペアンプ パッケージと 内部配線



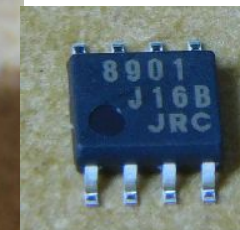
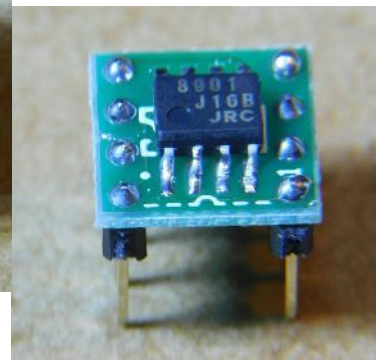
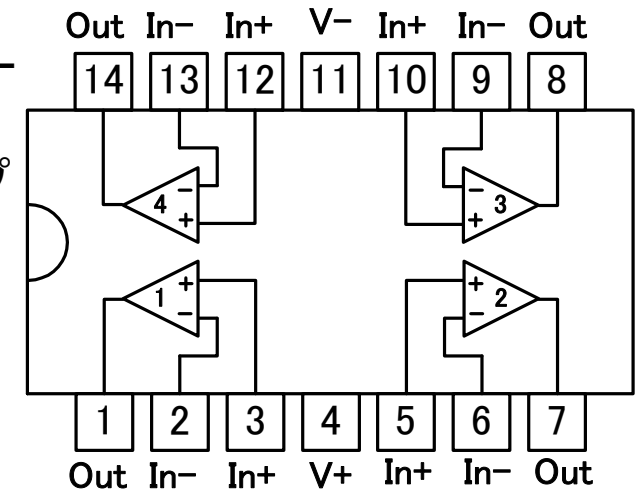
CASE メーカーにより、ピンアサインが部分的に異なる場合があります。

DIP 8ピンは、2個入りが、多いですが、1個の物もあります。



DIP 14ピンは、4個入りのオペアンプです。内部配線は、画像下の図を参照して下さい。

下の画像は、ハーフピッチの、表面実装型オペアンプです。



左側の画像は、DIP変換基板にハンダ付けした画像です。

オペアンプの電気的特徴、基本的使い方

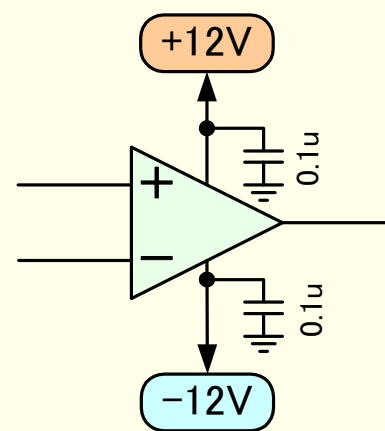
高入力抵抗、低出力抵抗、高開放利得(オープンループゲイン)を持ち、+入力端子と、-入力端子間の差電圧を増幅する機能を持つ差動増幅器です。種類によっては、初段の差動増幅器にジャンクションFETを用いた物や、オペアンプ全体をC-MOSで、構成した物もあります。これらは入力インピーダンスが、非常に高い特徴を持ちます。それとC-MOSタイプは低消費電力という特徴を持ちます。ROHMのサイトで確認したのですが、C-MOSタイプの物は、耐圧が低いそうです。通常のバイポーラタイプのオペアンプは、C-MOSタイプより入力バイアス電流、消費電流は多いですが高耐圧化が容易で、低ノイズ、低オフセット、広帯域が特長です。と書かれていました。

バイポーラとC-MOSは、このような傾向がある。という事でした。

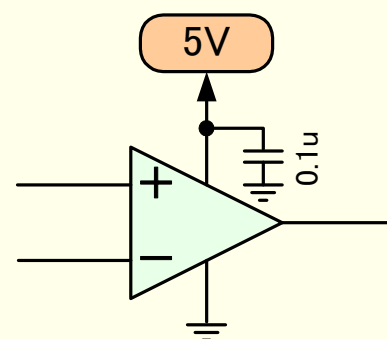
★ 電源、グランドとの接続:

非常に基本的な事ですが、電源とグランドとの接続についてです。オペアンプで通常使用する2電源の場合は、+電源端子と-電源端子のすぐ近くに0.1 μ F程度のコンデンサを接続してコンデンサの反対側端子を、グランドに落とします。コンデンサの種類は、積層セラミックコンデンサでいいと思います。5V単電源で使用する場合は、+電源端子を5Vに接続して、近くにコンデンサを付けます。-電源端子はグランドに接続します。

±12Vで使用する場合

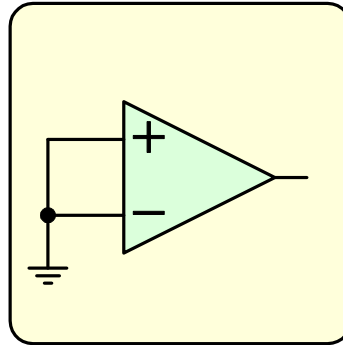


+5Vで使用する場合

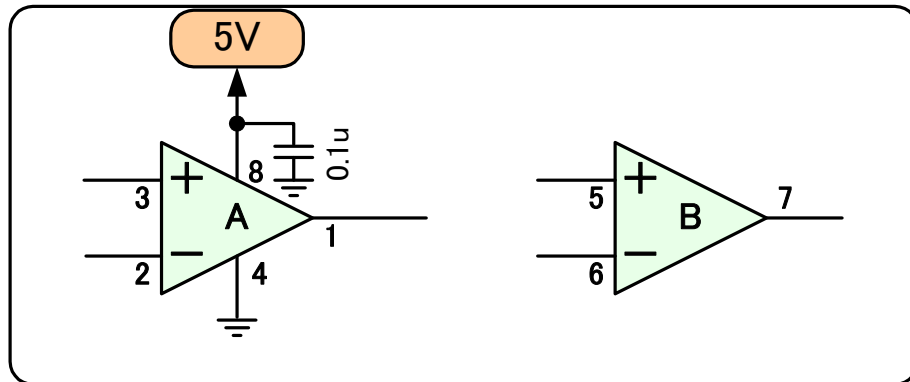


★ 4個入りオペアンプで、未使用のオペアンプが出た場合の処理:

時に、使用しないオペアンプが出る場合が、あります。この場合は、入力端子をオープンにしておくと ノイズを拾いますので、+と -の入力端子を、グランドに落として下さい。出力端子は、オープンです。



★ 複数オペアンプの電源端子の回路図への記入: 2回路入りの場合、どちらか片側に、電源接続を描きます。



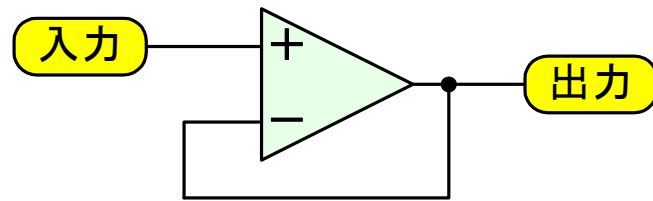
★ 最も単純な回路 ボルテージフォロア:

ボルテージフォロアは、バッファ回路で 入力された信号を、そのままの電圧、位相で 出力します。そのままの信号であれば、直接配線で接続すればいい。と思われる方も、中にはおられるかもしれませんので、何が違うかを説明します。一般にバッファ回路とは、入力がハイインピーダンス(高入力抵抗)で、信号を受けて、ローインピーダンス(低出力抵抗)で 信号を出します。ハイインピーダンスで信号を受けるという事は、信号源側に、負担をかけません。信号源側の出力インピーダンスが高いと、信号を長く引き伸ばしたりすると、信号レベルが 低下し、浮遊容量の影響で、波形がなまったりします。

つまり出力インピーダンスが高いと、周りの影響を受けやすいのです。バッファ回路を通す事で、インピーダンス変換して信号をローインピーダンスで出力出来ます。これにより出力される信号は、回りの影響を、受けにくくなります。

次に、ボルテージフォロアの回路を 示します。

ボルテージフォロア回路



このボルテージフォロア回路は、汎用オペアンプであれば、問題なく実現できると思いますが、非常に高性能なオペアンプの場合、**発振する恐れがある**ので気を付けて下さい。

ボルテージフォロアで使うと発振する恐れがある場合は、そのオペアンプのデータシートに注意書きがあると思います。

ボルテージフォロアの動作に関して、計算で証明している記述を見ましたが、やや難しいので、ここでは省きました。

まあ、100%負帰還が かかっているオペアンプで、増幅度 1倍 という事です。

差動増幅器の説明は、以前やったような記憶があるので、過去の動画を見てみたら、**099**の動画にて **トランジスタ2個を使って差動増幅器の実験と説明**をしていました。興味のある方はついに見て下さい。**オペアンプ**は、**差動増幅器**が、より理想的に動作するように **環境を整えた回路**といえます。その関係で、いくつかの特長を持つ事になったと 思われます。

- ① **入力インピーダンスを 極力高く**している。
- ② **出力インピーダンスを 極力低く**している。
- ③ **増幅度を 極力大きく**している。
- ④ 出来るだけ、**温度による直流オフセットやドリフトが 出ないように**している。
- ⑤ **ノイズを 出来る限り低く**押さえている。
- ⑥ 出来るだけ **高速化**している。
- ⑦ **同相除去比が、優れて**いる。

データシートには、上記特長を 数値パラメータで 記載してあります。

データシート上の性能の表記 及び、各種
オペアンプによる値の取りうる幅

- ① 入力インピーダンス: $10\text{k}\Omega \sim 1000\text{M}\Omega$
- ② 出力インピーダンス: $50\Omega \sim 600\Omega$
- ③ 増幅度: $60\text{dB} \sim 130\text{dB}$
- ④ 温度ドリフト: $1 \sim 50\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- ⑤ ノイズ 入力換算雑音: 例) $5\text{nV}/\text{SqHz}$
- ⑥ 高速化 利得帯域幅積: 例) 3.1MHz
スルーレイト: $0.7\text{V}/\mu\text{s} \sim 35\text{V}/\mu\text{s}$
- ⑦ 同相信号除去比 CMR: 例) 70dB

各オペアンプの用途、種類により、書いて無い
パラメータ、あるいは 追加されているパラメー
タが あります。

作りたい物に 使用するオペアンプの 目標性
能を、決めて、各オペアンプのデータシートと
比較して、目的に合ったオペアンプを探す事
になります。 場合によっては、性能のいいオ
ペアンプが見つかって、それに合わせる場合も
あるかもしれません。

特定用途に使用するオペアンプに共通の性質
みたいなものもあります。

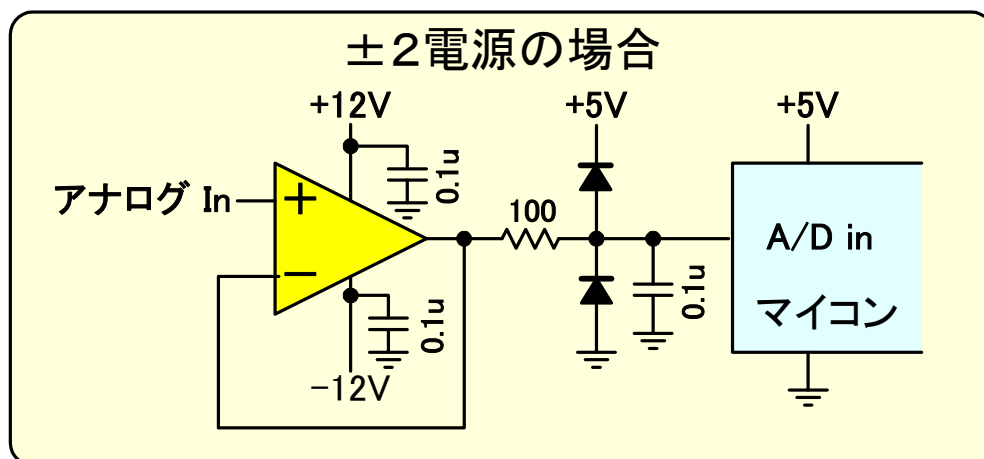
例えば、マイコンと接続する関係で単電源 +5V
で使用するオペアンプだと、以前私が使った物で
NJM2737という品種が、あります。

動作電源電圧は $1.8 \sim 6.0\text{V}$ で、入出力信号
が、 $0 \sim 5\text{V}$ まで使える フルスイングの物です。
まあ、フルスイングとはいえ 実際は 高い方は
 4.9V ぐらいで 打ち止めとなります。それと、単電
源 フルスイングのオペアンプは、スルーレイトは
遅いです。 NJM2737では、 $0.7\text{V}/\mu\text{s}$ です。
代わりに、入力換算雑音が $5\text{nV}/\text{SqHz typ}$ で
雑音は、かなり少ないです。 という事で、長所も
あれば、短所もあるという事です。

通常、オペアンプは、 $\pm 15\text{V}$ 等の2電源で、使用
する事を想定した サンプル回路が 多いです。
それらを、単電源で使用する場合、注意する事
があります。 これらを 次のページに示します。

例えば、マイコンのA/Dコンバータ入力に接続するオペアンプの例で 示します。

① ボルテージフォロアで、信号をバッファリングして、マイコンのA/D入力に接続する場合：



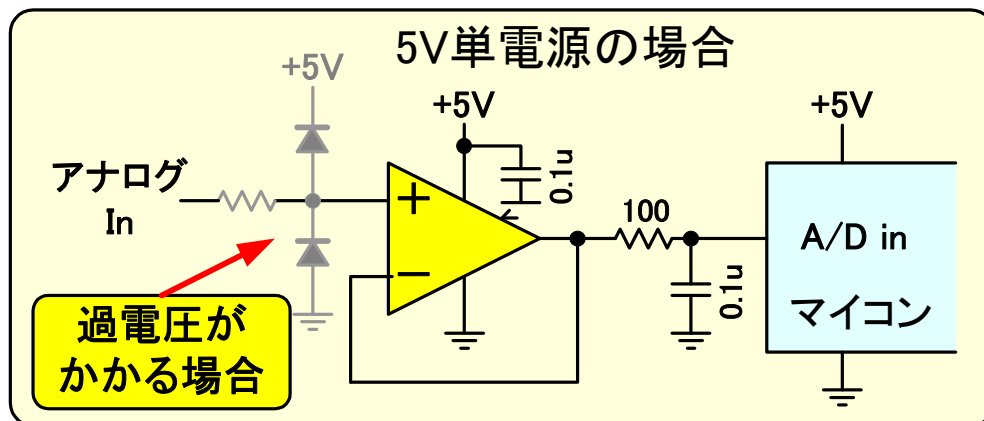
上の例では、OPAMP出力と マイコンの間に 100 Ω の抵抗と、+5Vと GNDに接続されたダイオード、それと GNDとの間に 0.1uFのコンデンサが、接続されています。逆接続のダイオードは、+5V以上、0V以下の電圧が、OPAMPから出力された場合の、マイコン保護用の

電圧クリップ用です。100 Ω も 過電圧時の電流制限用と、コンデンサとの組み合わせでノイズ吸収をしています。それと マイコンのA/D入力直前の 0.1uFのコンデンサは、A/D入力 切替時に出る恐れのある キックバックノイズ吸収用でもあります。

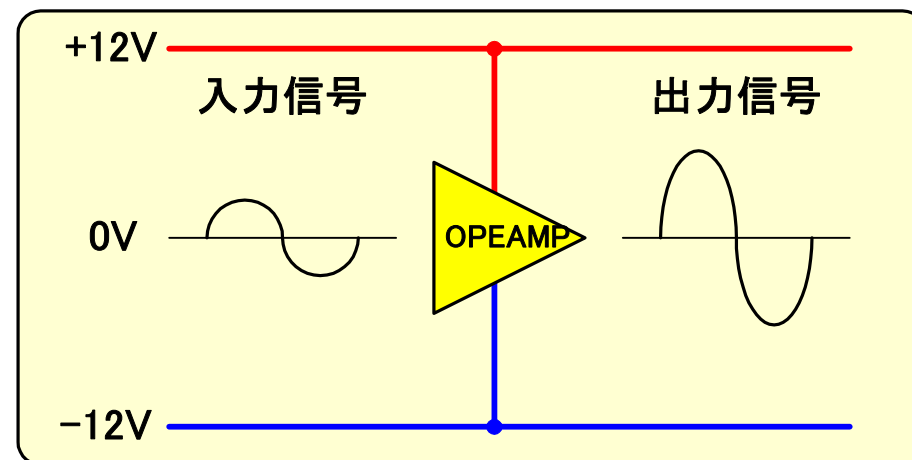
キックバックノイズは AD変換器前段にサンプルホルダーという小容量のキャパシタと、アナログマルチプレクサという、入力切替用 FETスイッチがあります。この FETスイッチを切り替えた瞬間にサンプルホルダーに、電荷が急速に流れ込んだり逆に、電荷が外に 急速に流れ出したりします。このサンプルホルダーと 外部との電位差で、急速に 電荷が移動する事をキックバックノイズといいます。時間的に 極く短い過度現象なのですが、この過度現象が、終わる前に A/D変換スタートを行うと、変換した量子化数に ノイズが乗ったようになります。0.1uFのコンデンサは、その電荷の移動を速く収束させる目的で付けています。

ちょっと A/Dコンバータの横道にそれましたが、今度は、5V単電源によるオペアンプ回路です。さっきよりシンプルになってます。

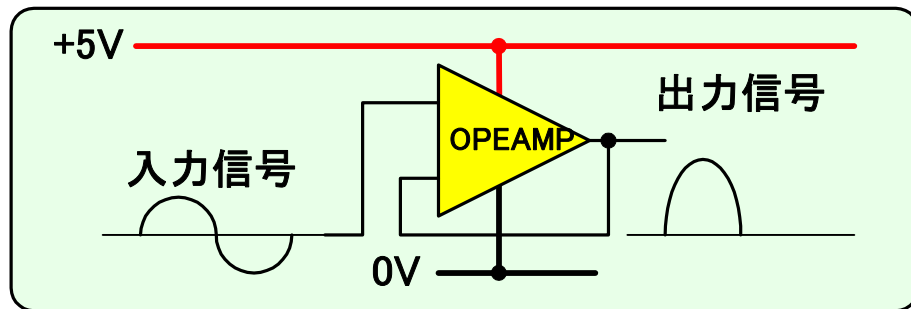
オペアンプが、マイコンと同じ 5V電源で動作しているので、過電圧クリップのダイオードが必要ありません。OPAMP入力のアナログ In に過電圧がかかる恐れがある場合は、このアナログ Inの部分に抵抗とダイオードクリップの回路を入れて下さい。アナログ In 側の抵抗は、 $1k\Omega$ ぐらいに抵抗値を上げて OK と思います。



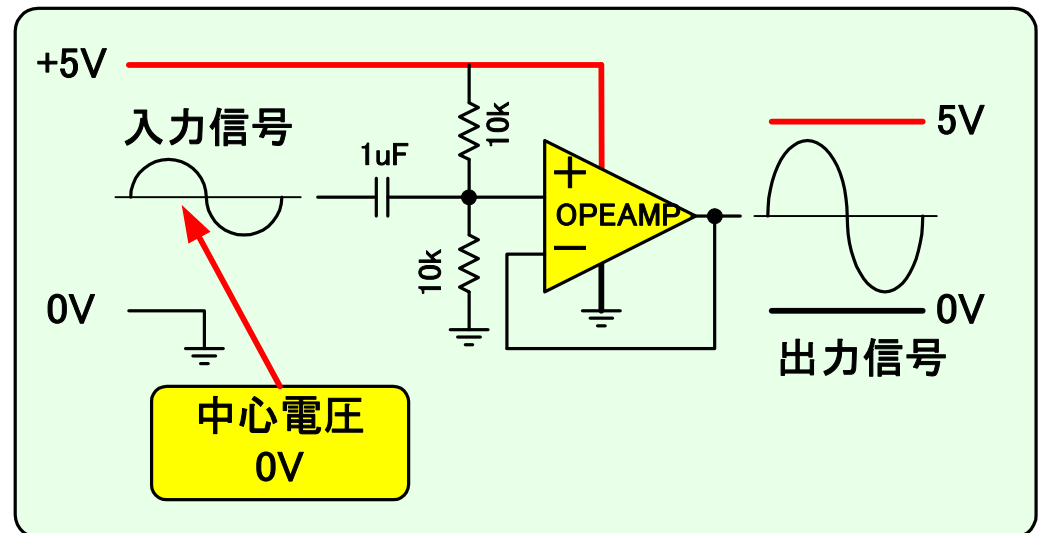
±2電源で動作するオペアンプで 0Vを中心として、±に振れる交流信号を扱う時は、すんなり増幅出来ます。



単純に ±に振れる交流信号を、単電源オペアンプに入れると プラスの半波しか取り出せません。要は、±2電源の場合は、交流波形の中心電位を グランド電位として扱えるので便利なのです。ところが、5V単電源の場合、中心位置になる電位が 電源に存在しない という事です。次ページで、図に表してみます。



上の単純な接続だと、プラスの半波しか取り出せません。次は、右の図ですがまず、入力信号を **カップリングコンデンサ**を通す事で、**AC結合**します。**5Vの中点となる2.5Vの電源を用意する**必要があります。一番簡単なのは、**同じ値の2本の金属皮膜抵抗で5Vを分圧する**方法があります。これは、トランジスタアンプのバイアス抵抗的な使い方です。この様にすることで **5V単電源でも交流信号を扱えます**。出力に **2.5Vの直流バイアス**がかかっていますが交流成分のみ取り出す場合は、また**カップリングコンデンサ**を使用して下さい。



カップリングコンデンサの容量は、用途（下限周波数）によって選別して下さい。これで、5V単電源でも、交流を増幅または、フィルタ処理など出来ます。但しスルーレートが遅いので、あまり速い信号は扱えません。NJM2737は、電池駆動のポータブルオーディオ機器に使用する事を想定している様で通常のオーディオ帯域上限の20kHzぐらいまでは、何とか扱えると思います。

今回の実験は、フィルタ回路

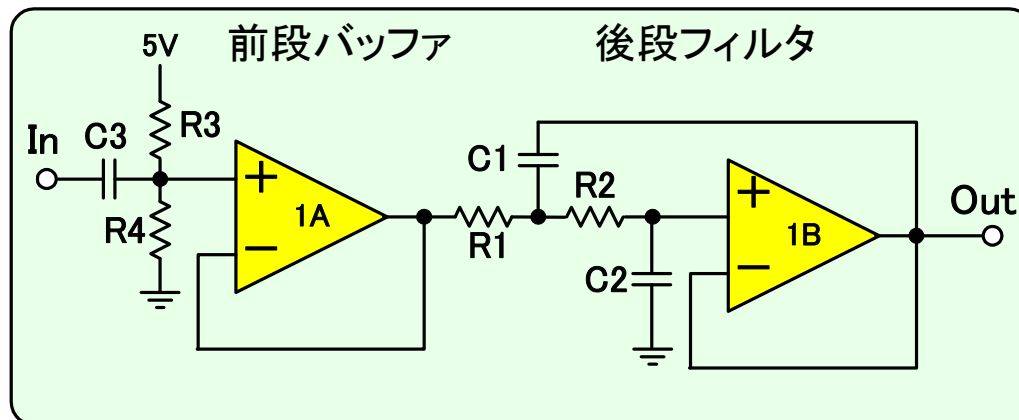
一部、前回の動画の続きになりますが、**オペ
アンプ**を使用した **フィルタの実験**をします。

フィルタには、**ローパス**、**ハイパス**、**バンド
パス** それと**ノッチフィルタ**が、あります。

ノッチフィルタは、**バンドパスの逆の動作**
で、**特定の周波数帯域だけ削り取る**ものです。
このノッチフィルタは、**バンドストップフィル
ター**、**バンドリミットフィルタ**、**Tノッチフィルタ**
ー、**バンド エリミネーションフィルタ**と 様々な
名前があります。

今回は、**ローパスフィルタ**と **ハイパスフィ
ルター**を 作って実験してみます。 それと、2
つのフィルタを 連結して**バンドパスフィルタ**
ーとして 使えるか試してみます。

★ ローパスフィルタ回路:



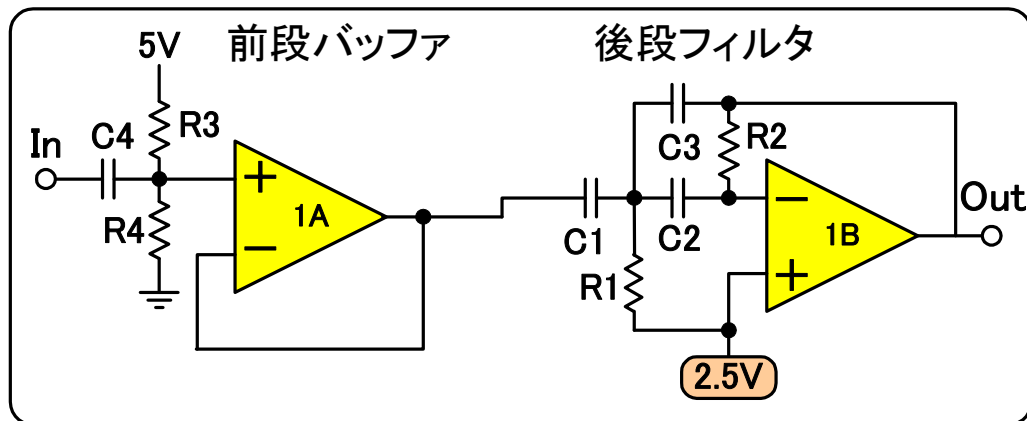
条件: $C1 = 2 C2$ 、 $R1 = R2$

$R3 = R4 = 10k\Omega$ 、 $C3 = 1\mu F$

$C1 = 0.02\mu F$ 、 $C2 = 0.01\mu F$ とします。

$$f_c = \frac{1}{2\pi R1 \sqrt{C1C2}} [\text{Hz}]$$

★ ハイパスフィルター回路:



条件: $C1 = C2 = C3 = C$ 、 $Q = 1$
 $R3 = R4 = 10k\Omega$ 、 $C3 = 1\mu F$
 $C = 0.01\mu F$ とする。

2.5V は、オペアンプで
 バッファリングした 2.5V とします。

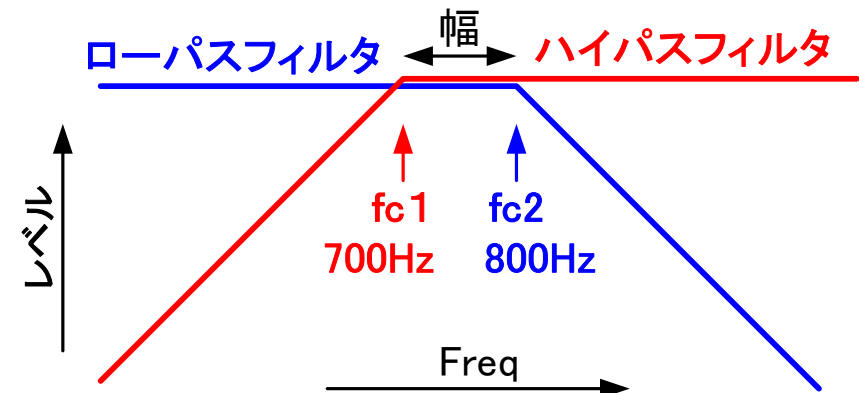
$$f_c = \frac{1}{6\pi C R1} \text{ Hz}$$

$$R1 = \frac{1}{6\pi C f_c} \Omega, \quad \sqrt{R2} = 3\sqrt{R1}$$

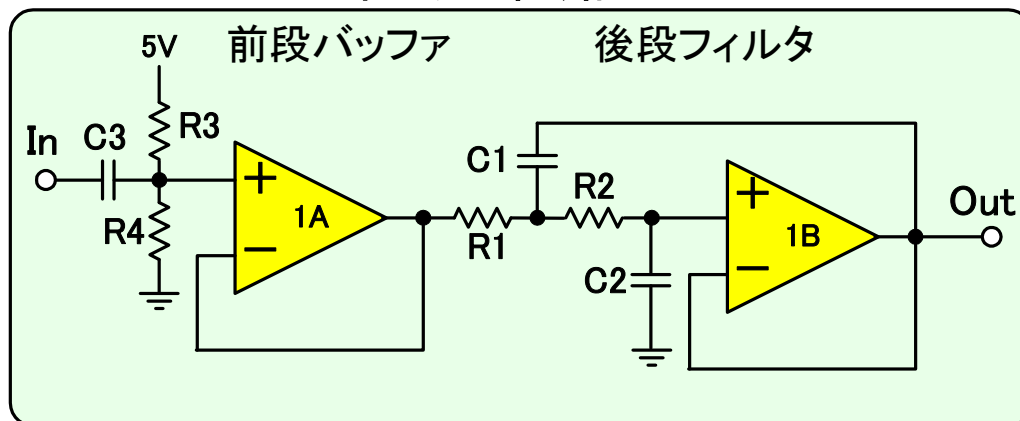
★ バンドパスフィルターに関して:

1個のオペアンプにて、バンドパスフィルタ
 も構成出来るが、Hi 側と、Low 側のカット
 オフの傾斜が、それぞれ 6dB/Oct になるの
 で やや 切れ味が 悪いです。

ハイパスフィルターと ローパスフィルター
 は、12db/Oct で切れ味が いいです。バンド
 パスフィルターも 2段重ねれば 基本 同じに
 なりますが、ハイパスと ローパスを 重ねた
 方が、Hi 側と、Low 側で 遮断周波数を独立
 して設定出来るので 幅を持たせたい場合は
 具合が いい と思います。



★ ローパスフィルター回路:



コンデンサ、抵抗の 計算値

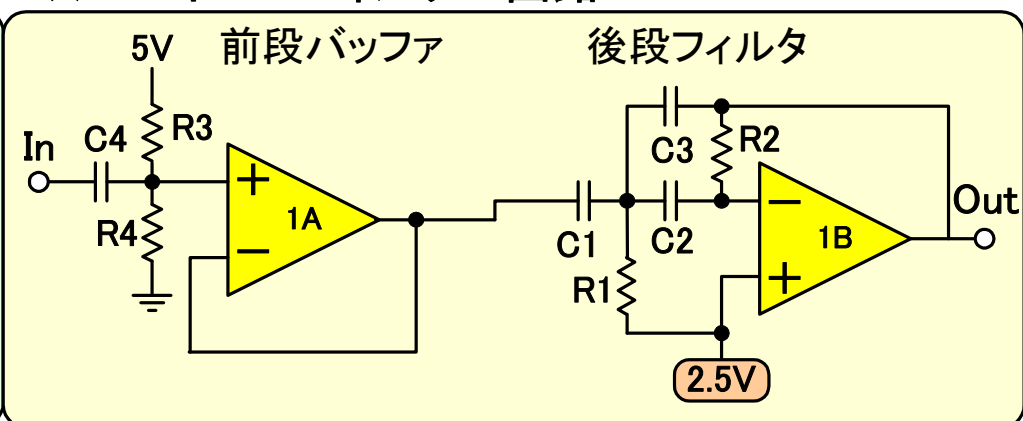
$C1 = 0.02 \mu\text{F}$ 、 $C2 = 0.01 \mu\text{F}$
 $R1 = 14 \text{ k}\Omega$ 、 $R2 = 14 \text{ k}\Omega$

$C3 = 1 \mu\text{F}$ 、 $R3 = 10 \text{ k}\Omega$ 、 $R4 = 10 \text{ k}\Omega$

目標カットオフ周波数: 800Hz

E24系列抵抗値で計算した周波数: 804Hz

★ ハイパスフィルター回路:



コンデンサ、抵抗の 計算値

$C1 = 0.01 \mu\text{F}$ 、 $C2 = 0.01 \mu\text{F}$ 、 $C3 = 0.01 \mu\text{F}$
 $R1 = 7.5 \text{ k}\Omega$ 、 $R2 = 68 \text{ k}\Omega$

$C4 = 1 \mu\text{F}$ 、 $R3 = 10 \text{ k}\Omega$ 、 $R4 = 10 \text{ k}\Omega$

目標カットオフ周波数: 700Hz

E24系列抵抗値で計算した周波数: 707Hz

★ 2.5V 電源:

当初、抵抗2本で、2.5Vを用意するつもりでしたが、ハイパスフィルタで使う 2.5Vは、電位がぶれるとまずい。と思ったので 安定した 2.5V 電源を用意するために、以前使った シェントレギュレータTL431で、2.5Vを生成し、それを オペアンプの ボルテージフォロアで、バッファリングして出す事にしました。

