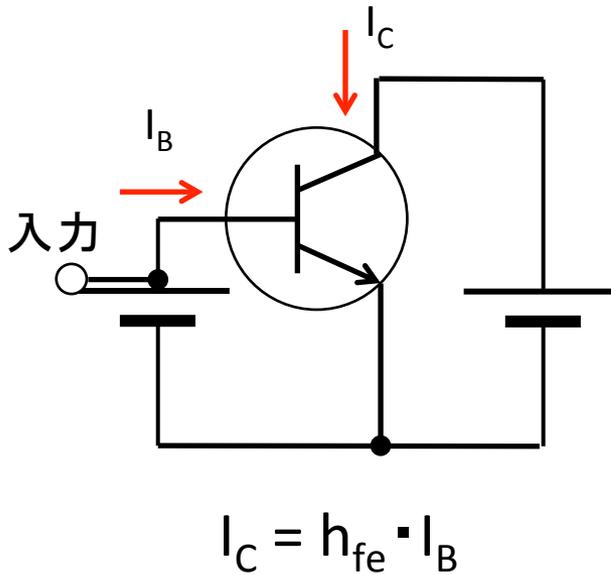


増幅回路

能動素子を使った回路の基本である増幅回路の動作を、トランジスタを材料にして学んでみよう。

ただ1個のトランジスタを使ってもろくな増幅動作は得られないが、それに対して様々な工夫をすることで、安定な増幅動作が得られるのである。

1石アンプ

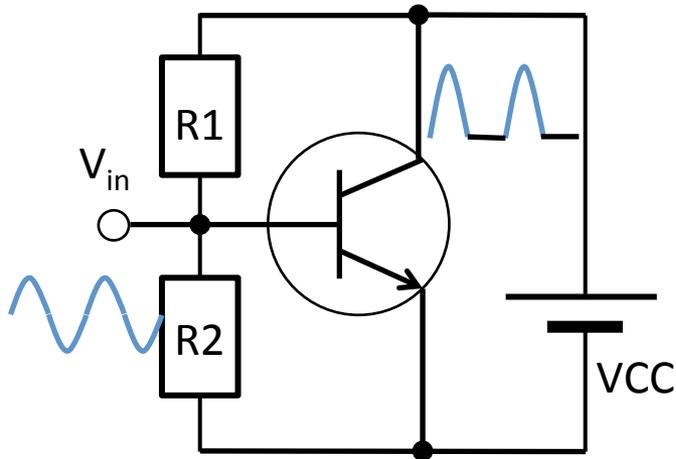


0、とりあえず電源をつないだ。
入力にかかる電圧でベース電流が流れる。

トランジスタ1個を使った増幅回路を、1石アンプと呼ぶ。石とはシリコン素子を意味する。

最も単純な増幅回路は右のようなもので、ベース電流 I_B がコレクタ電流 I_C として、 h_{fe} 倍に増幅される。しかし、この回路ではベース・エミッタ電圧に適した電圧の電源と、コレクタ用の電源が別々に2つ必要だし、増幅率はトランジスタ毎に違ってしまふ。熱暴走も起こりやすい。そして電圧は変わらない。

電源とバイアス電圧

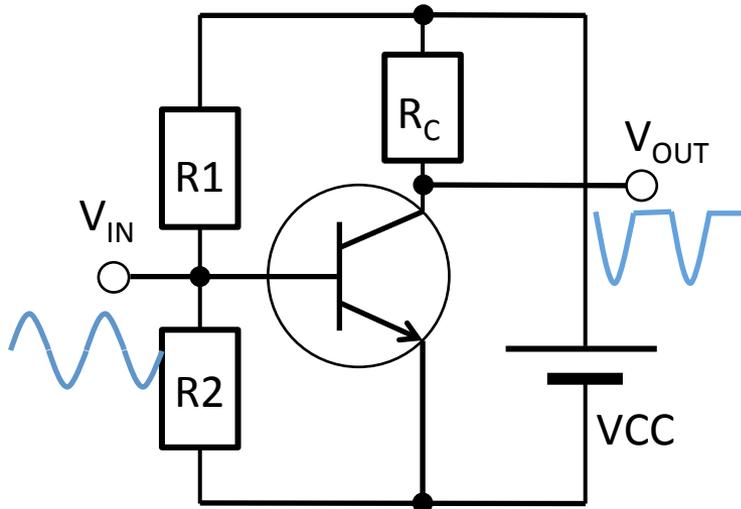


1、電源電圧を
決める。
例、5V

3,5,9,12,15など

電源を2つ必要とするのでは、装置としては使いにくい。そこで、電源電圧VCCを抵抗R1とR2で分割してベース電圧を作ろう。例えば、電源電圧が最近よく使われる(USBとか)5Vの場合、VBEを0.6Vにするためには、 $R1 : R2 = 0.6 : 4.4$ でなければならない。例えばR1=3k, R2=22kなどが考えられる。この時ベース電圧をバイアス電圧と呼ぶ。Vinが正の値を取るとベース電流が流れ、 h_{fe} 倍のコレクタ電流が流れる。ただし、電圧が正の時しか電流は流れない。

負荷抵抗

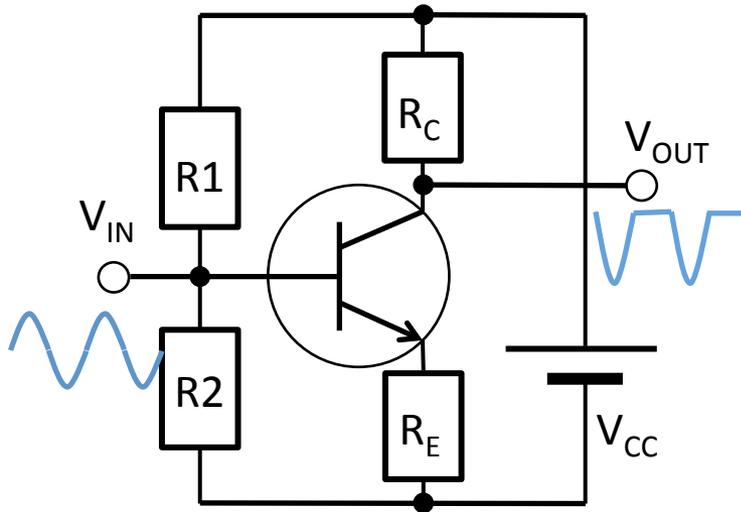


2. 負荷抵抗=コレクタ抵抗を決める。

電力がトランジスタのコレクタ損失を越えない範囲。

コレクタ電流はベース電圧だけで決まり、100近い高い増幅率のため、大電流が流れてしまう。電流を制限し、同時に出力を電圧変化として取り出すため、負荷としてコレクタ抵抗 R_C を入れる。コレクタ電流の最大値は V_{CC}/R_C 、コレクタ電圧の最大値は V_{CC} で、逆向きに増減する。この時の最大電力は中間点で、 $V_{CC}^2/4R_C$ である。最大コレクタ損失が 10mW とすると、余裕を持たせて、 $R_C=1\text{k}\Omega$ とすると、最大電力は約 6mW になる。(電力が大きいと、熱暴走する。)

フィードバック抵抗

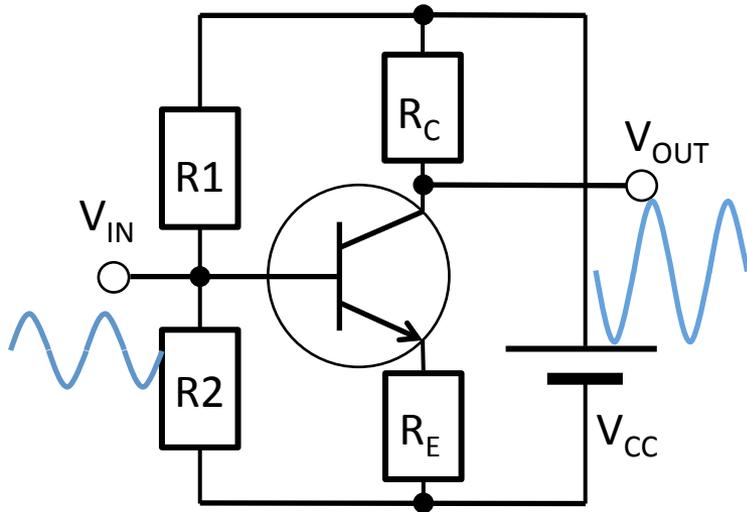


3.増幅率を決める。
10倍程度。

大きすぎると動作
が不安定になる。

増幅率が h_{fe} のみで決まると、大きすぎて出力が不安定で、入力に対して線形でない。そこでエミッタ抵抗 R_E を入れると、エミッタ電流 $=I_B+I_C$ との積でベース電圧が増加し、ベース電流を制限するため、増幅率が下がる。この時出力電圧 V_{out} は $R_C I_C$ 分下がる。よって、入力ベース電圧と出力電圧の変化分の比=電圧増幅率は、ほぼ $-R_C/R_E$ になり、**線形な増幅が可能**となる。増幅率10として、 $R_E=100\Omega$ 。この抵抗 R_E は出力電流をベース電圧に戻して(フィードバック)**増幅率を制限**するので、フィードバック抵抗と呼ぶ。

バイアスの設定

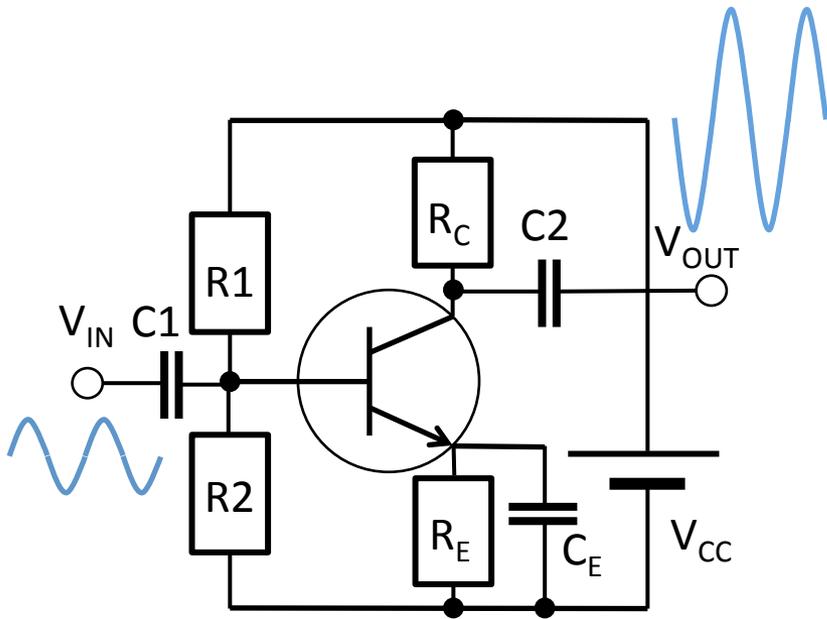


4. バイアス電圧を決定。

動作の中間点を選ぶ。

ベースのバイアス電圧を0.6Vにすると、出力は上が半分切れた波形になる。そこでバイアスを動作の中間点にして、上下均等に出力できるようにする。出力が2.5Vのとき、 I_C は2.5mA。エミッタ電圧は0.25V、ベース電圧は+0.6で約0.9V。ベース電流25 μ Aより10倍以上の電流が流れるよう、 $R_1=9.1k\Omega$ 、 $R_2=2k\Omega$ とすると、バイアス0.9V、両抵抗を流れる電流500 μ Aとなる。

コンデンサを入れる



5. エミッタにバイパスコンデンサを入れる

希望の周波数で値を決める。

入出力の交流波形だけを取り出すため、 $C1, C2$ を入れる。エミッタには交流信号のフィードバックを小さくするバイパス・コンデンサ C_E を入れる。これにより、交流の増幅率が高くなる。また、高周波が戻らないので、自己発振が起きにくくなる。

これで増幅回路ができる！？

実際は設計通りに回路を作っても、思ったようには動作しないことが多い。増幅率が小さくて音が鳴らなかったり、コレクタ電流が大きすぎて熱暴走したり、周波数特性が足りなくて音が歪んだり、予想外の問題が起きて、抵抗の値を微妙に調整しなければならない。しかし、大筋の理論は正しく、動作するはずの増幅回路を自分で設計することができた。ハズだ！

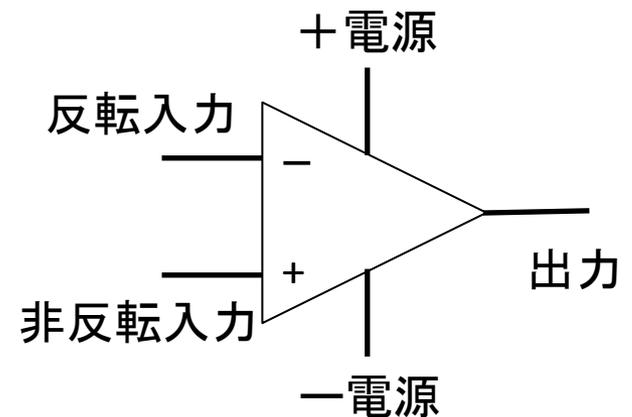
この回路が基礎となって、様々な電子回路が作られた。



オペアンプ

トランジスタはすばらしい素子だが、うまく使いこなすのは難しいことが分かった。それに対して、理想的な増幅素子を作れば、より簡単に回路を作ることができるだろう。

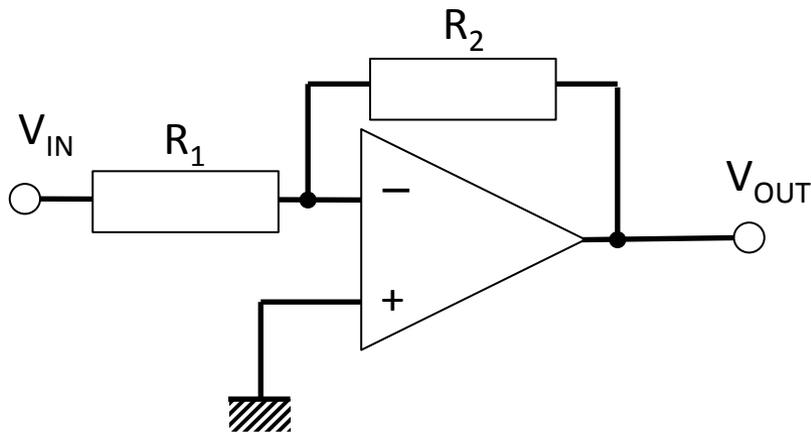
オペアンプは理想的な線形増幅素子で、1,非常に大きな電圧増幅率。2,非常に大きな入力インピーダンス。3,非常に小さな出力インピーダンス。を持っている。



オペアンプは非反転入力ー反転入力の電圧を10,000倍以上に増幅して出力する。

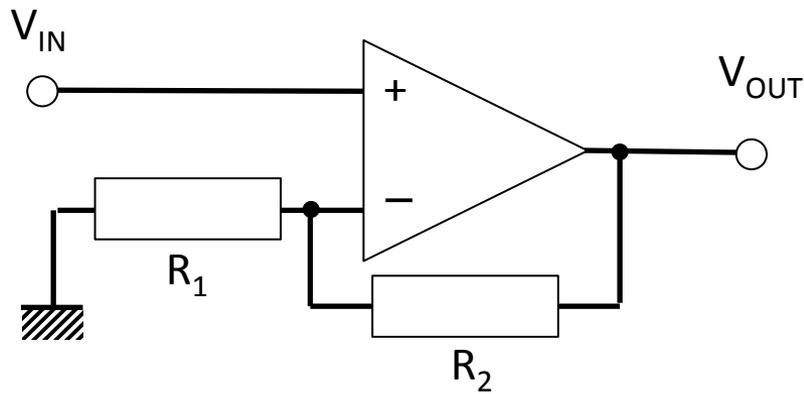
増幅率が高すぎるため、2つの入力の電位差はほぼ0に近いことになる。

反転増幅回路



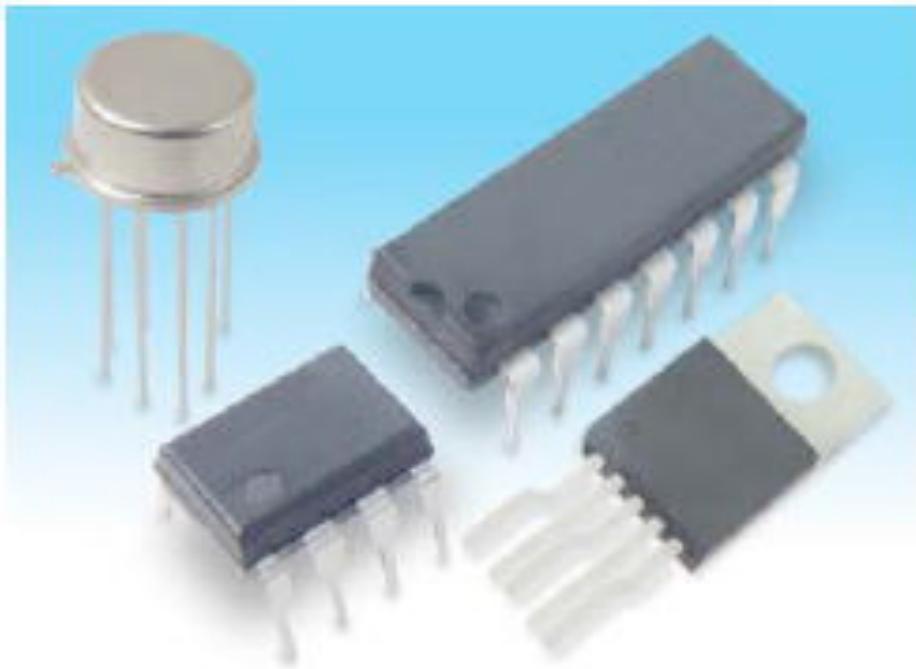
左図は典型的な増幅回路で入力を正負反転させ、 R_2/R_1 倍に増幅して出力する。このため反転増幅回路と呼ばれる。

非反転増幅回路



左図はやはり典型的な増幅回路の1つで、入力を反転させず、 $(R_1+R_2)/R_1$ 倍に増幅して出力する。このため非反転増幅回路と呼ばれる。オペアンプを使えば、誰でも簡単に増幅回路を作ることができる。

オペアンプの外形



オペアンプは半導体基板上に作られた集積回路で、様々な形状のものがある。