

低周波増幅器の設計

東京電機大学
ユビキタス無線工学
参考資料

工学博士

根日屋 英之

Dr. Hideyuki Nebiya

平成22年12月22日

Private & Confidential

1

低周波小信号アンプ

■ 仕様(例)

入力インピーダンス : 75Ω

出力インピーダンス : 75Ω

利得 : 20dB (@100kHz)

電源回路 : +6V

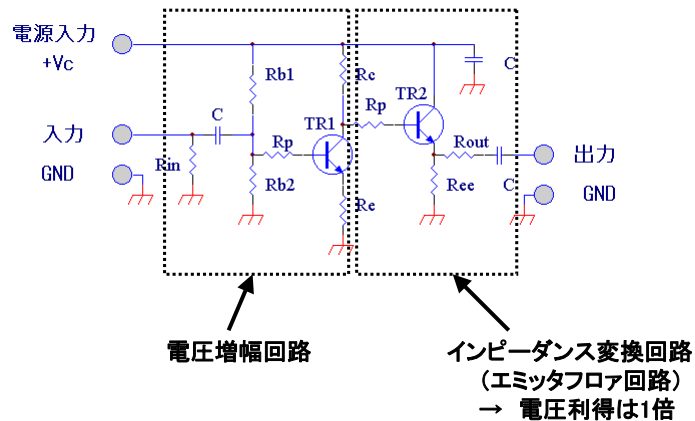
出力 : 1mW以上

平成22年12月22日

Private & Confidential

2

☆回路図 (以下の回路に決めてしまう)



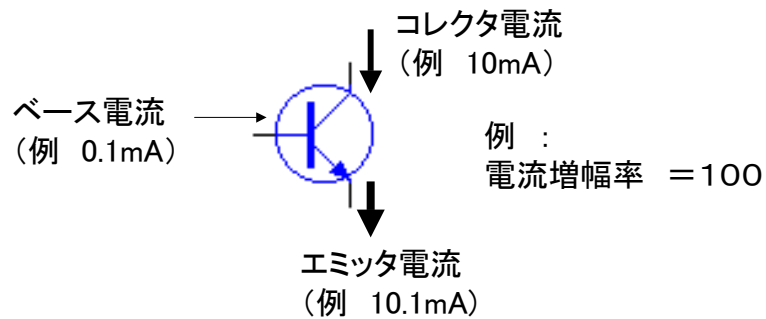
平成22年12月22日

Private & Confidential

3

☆トランジスタの基本特性

コレクタに流れる電流はベースに流し込む電流に比例(増幅動作)する。エミッタ電流はベース電流とコレクタ電流の合計となる。 ← 重要 !



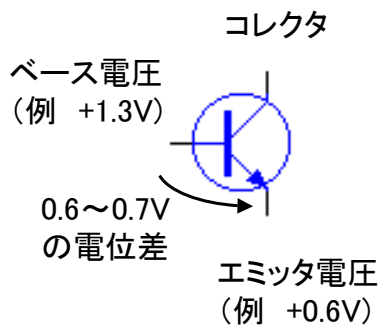
平成22年12月22日

Private & Confidential

4

☆トランジスタの基本特性

動作しているとき、ベース電圧はエミッタ電圧より0.6~0.7V高くなる。 ← 重要 !



平成22年12月22日

Private & Confidential

5

☆コンデンサの容量値の決め方

■ Cは周波数で決まる

~1 μ F	:	~100kHz
~0.1 μ F	:	~ 1MHz
~0.01 μ F	:	~ 10MHz
~0.001 μ F	:	~100MHz
⋮		⋮

平成22年12月22日

Private & Confidential

6

部品の選択

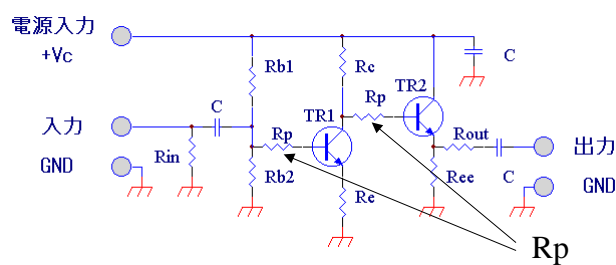
- 抵抗、コンデンサ、コイル等の部品は全ての値があるわけではなくE6, E12, E24...等の系列がある。
- E24系列 : 1.0、1.1、1.2、1.3、1.5、1.6、1.8、2.0、2.2、2.4、2.7、3.0、3.3、3.6、3.9、4.3、4.7、5.1、5.6、6.2、6.8、7.5、8.2、9.1 (1~10を24分割)

平成22年12月22日

Private & Confidential

7

☆ 発振防止抵抗 R_p の値の決め方



トランジスタが異常発振を起した場合は、各トランジスタのベース入力に R_p を入れると発振をとめることができる。 R_p はその値を大きくすると増幅器としての周波数特性を低くしてしまうので発振がとまる最小の抵抗値より少し大きめの値を選ぶ。目安として 20Ω 程度。

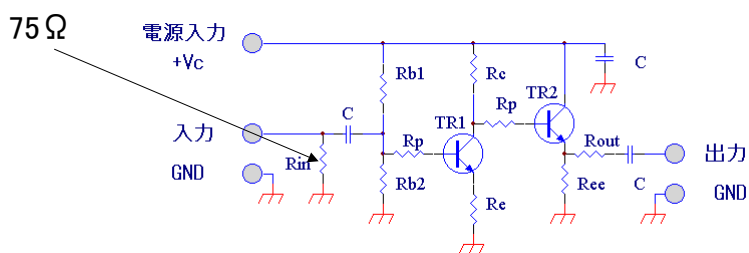
平成22年12月22日

Private & Confidential

8

☆入力抵抗 R_{in} の決め方(暫定設計)

R_{in} は入力インピーダンス(仕様)と同じ。
今回は75Ω (E24系列から75Ωを選ぶ。)



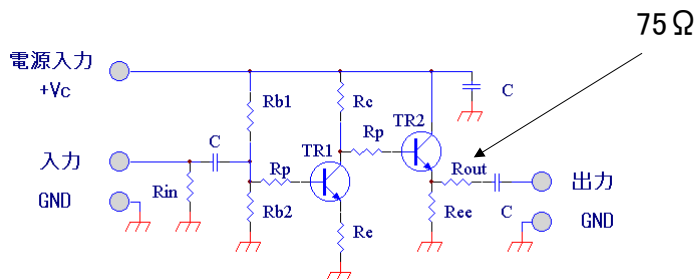
平成22年12月22日

Private & Confidential

9

☆出力抵抗 R_{out} の決め方(暫定設計)

R_{out} は出力インピーダンス(仕様)と同じ。
今回は75Ω (E24系列から75Ωを選ぶ。)



平成22年12月22日

Private & Confidential

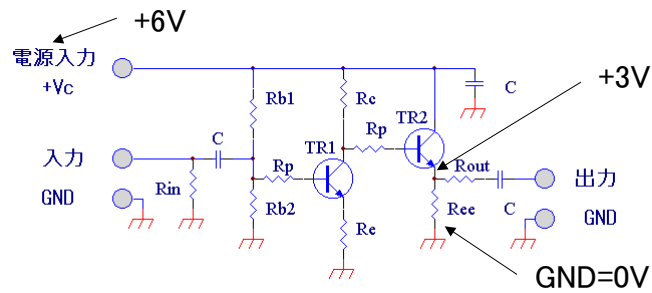
10

☆TR2のバイアス設計

バイアス設計とはトランジスタにかける電圧の設定

今回は電源電圧は仕様より +6V

TR2のエミッタ電圧は電源電圧の半分(+3V)と決めてしまう。



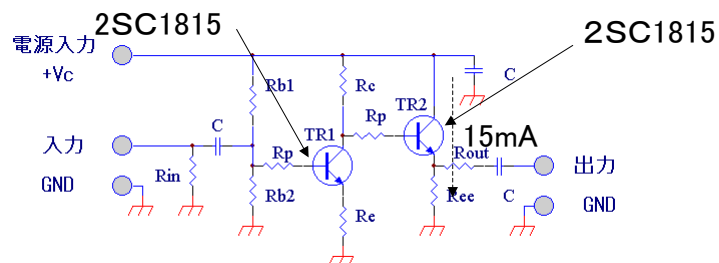
平成22年12月22日

Private & Confidential

11

☆トランジスタの選定

小信号増幅用の増幅器のトランジスタには、だいたい10～15mAのコレクタ電流を流す。ここでは、定番のトランジスタ 2SC1815(絶対最大定格 $V_c=60V$ 、 $I_c=150mA$ 、 $h_{fe}=70\sim700$ 、 $f_t=80MHz$)を用いる。



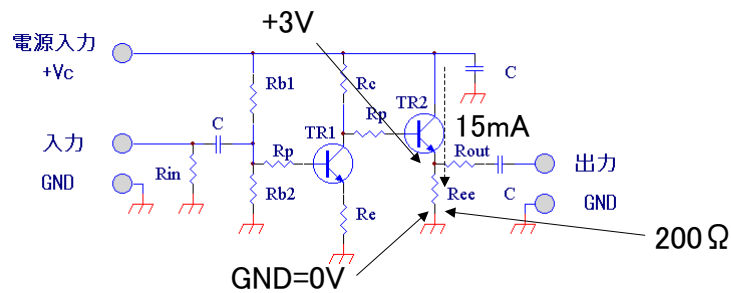
平成22年12月22日

Private & Confidential

12

☆TR2のバイアス設計

小信号増幅用の増幅器のトランジスタには、だいたい10～15mAのコレクタ電流を流す。コレクタ電流は、エミッタ電流とほぼ等しい。今、エミッタ電流を15mAとすると、 R_{e1} は200Ωと決まる。



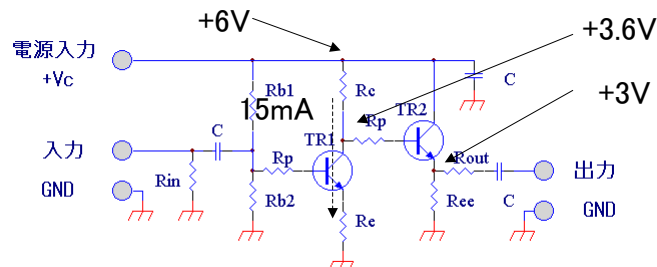
平成22年12月22日

Private & Confidential

13

☆TR1のバイアス設計

トランジスタの基本特性からTR2のベース電圧は+3.6Vとなる。Rpにはほとんど電流は流れないのでTR1のコレクタ電圧も+3.6Vとなる。TR1のコレクタ電流を15mAとすると、 R_c は160Ωと決まる。



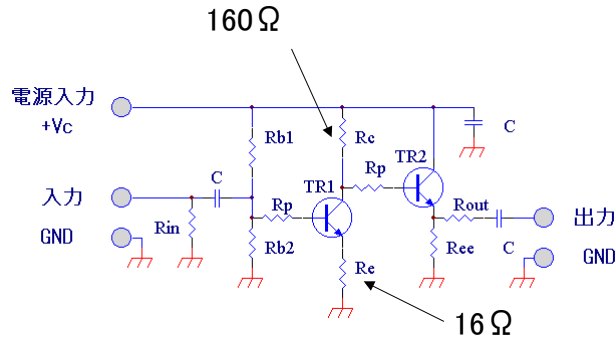
平成22年12月22日

Private & Confidential

14

☆TR1のバイアス設計(暫定設計)

TR1は電圧増幅の回路。電圧利得は約 R_c/R_e となる。今回は仕様により利得は20dB(電圧利得で10倍)。よって $R_c=160\Omega$ より、 $R_e=16\Omega$ となる。



平成22年12月22日

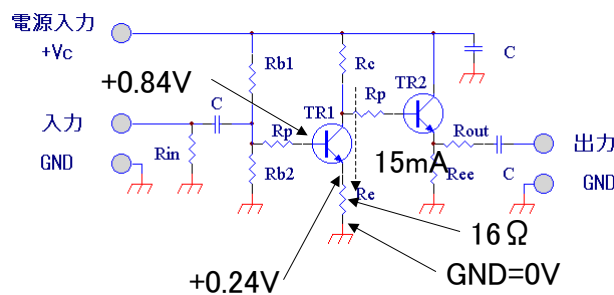
Private & Confidential

15

☆TR1のバイアス設計

TR1のエミッタ電流は15mA。よってTR1のエミッタ電圧は $16\Omega \times 15\text{mA} = +0.24\text{V}$ となる。

トランジスタの基本特性からTR1のベース電圧はエミッタ電圧よりも約0.6V高くなるので+0.84Vとなる。



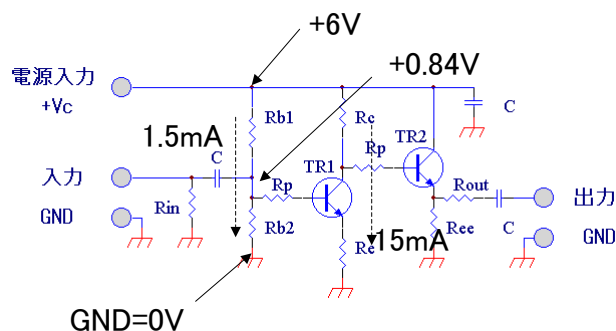
平成22年12月22日

Private & Confidential

16

☆TR1のバイアス設計

TR1のRpにはほとんど電流がながれないのでRb1とRb2の接続点の電圧も+0.84Vと考えてよい。
Rb1とRb2に流す電流はTR1のコレクタ電流の10%程度とする。



平成22年12月22日

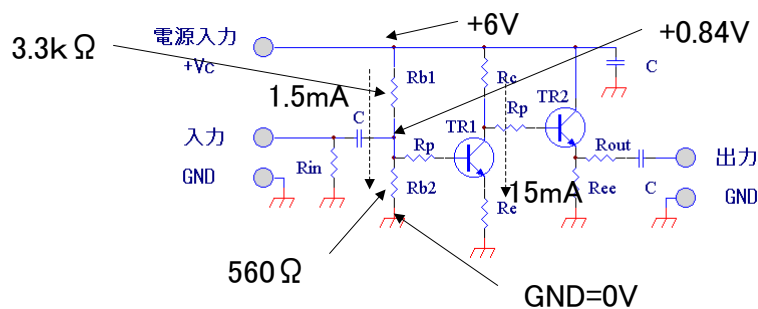
Private & Confidential

17

☆TR1のバイアス設計

TR1まわりの電圧が以下のように決まったので

- $Rb1 = (6 - 0.84) V / 1.5 mA = 3.44 k \Omega$
= 3.3k Ω (E24系列より)
- $Rb2 = 0.84 V / 1.5 mA = 560 \Omega$ (560 Ω はE24系列にある)

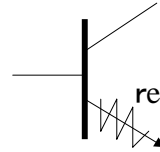


平成22年12月22日

Private & Confidential

18

☆設計フィードバック (利得の確認)



利得Gは約 R_c/R_e としたが、実はトランジスタの中にはエミッタ
拡散抵抗 r_e が存在する。これは

$$r_e = 0.026/I_c = 0.026/0.015$$

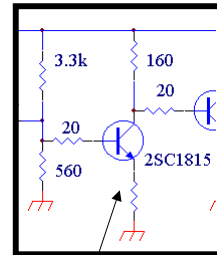
$$= 1.7(\Omega) \dots (\text{常温で}) \text{程度であり}$$

利得の設計の見直しをすると

$$G = R_c / (R_e + r_e)$$

$$= 160(\Omega) / (16 + 1.7)(\Omega) = \text{約}9\text{倍}$$

となってしまうので、 R_e は前述のバイアス設計
(暫定設計)で決めた 16Ω から 1.7Ω を差し引い
た 14.3Ω に近いもので利得が余裕を持って得ら
れるようにE24系列から 13Ω を選ぶ。



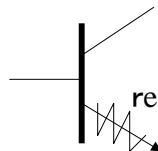
$16\Omega \rightarrow 13\Omega$

平成22年12月22日

Private & Confidential

19

☆設計フィードバック (出力の確認)



出力は $1mW$ まで出したい。 $1mW$ とは 75Ω では
電力 = 電圧² / 抵抗より電圧は、rms電圧で $0.27V$ 、
すなわちピーク電圧は $\pm 0.38V$ となる。

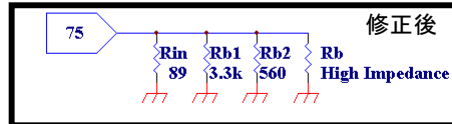
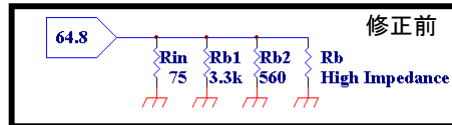
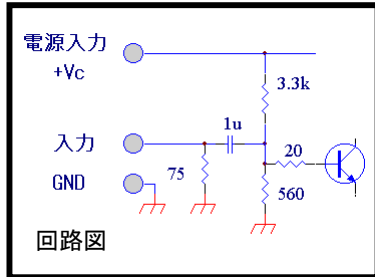
今回は電源電圧が $+6V$ 、TR2のエミッタの電圧を $+3V$ で
設計しているため、電源側への電圧余裕は $3V$ 、GND側
への電圧余裕も $3V$ あるので、出力は安定にとりだせる。

平成22年12月22日

Private & Confidential

20

☆設計フィードバック (入力抵抗 R_{in} の変更)



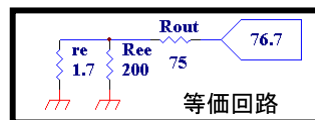
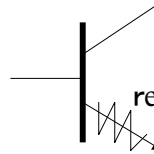
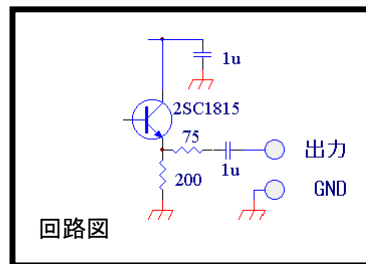
ラフ設計では $R_{in}=75\Omega$ のときに
アンプ入力インピーダンスは 64.8Ω
に見えている。
ここで $R_{in}=89\Omega$ にすると入力イン
ピーダンスは 75Ω に見える。E24
系列から R_{in} を 91Ω に変更する。

平成22年12月22日

Private & Confidential

21

☆設計フィードバック (出力抵抗 R_{out} の変更)



E24系列では 68Ω 、 75Ω 、 82Ω となるので
出力抵抗 R_{out} は 75Ω がよい。よって変更なし。

平成22年12月22日

Private & Confidential

22

以上から最終的な回路図は

