

実験項目	実験 B 6 トランジスタ増幅器の製作	
校名 科名	熊本高等専門学校	人間情報システム工学科
学年 番号	3 年	42 号
氏名	山口惺司	
班名 回数	4 班	1 回目
実験年月日 建物 部屋名	2023 年 10 月 5, 12 日 木曜 天候 晴 3 号棟 1 階 HI 演習室	
共同実験者名		

1. 実験目的

簡単なトランジスタ増幅器の設計・製作と、その回路の特性を測定することによって、増幅器の概念を学び、併せてトランジスタについて理解を深める。

2. 実験原理

2.1 増幅回路の直流電圧・電流について

図1に、エミッタ設置増幅回路の回路図を記載する。

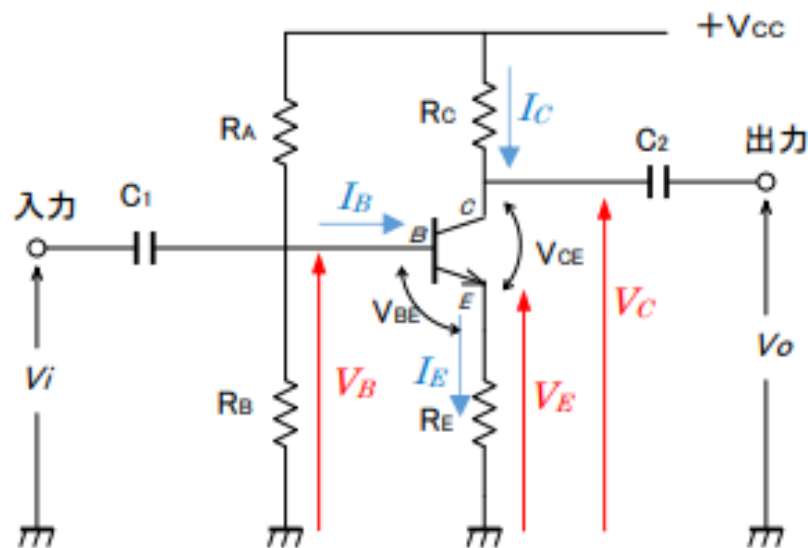


図1 エミッタ設置増幅回路

1. トランジスタについて、コレクタに流れる電流を I_C 、ベースに流れる電流を I_B 、エミッタに流れる電流を I_E とすると、

$$I_E = I_B + I_C \text{ [A]} \quad (1)$$

という関係式が成立する。

2. ベースの直流電位 V_B (ベースバイアス電圧) は、 I_B をきわめて小さいとして無視すると、

$$V_B = \frac{R_B}{R_A + R_B} \cdot V_{CC} \text{ [V]} \quad (2)$$

また、

$$V_B = I_E \cdot R_E + V_{BE} \text{ [V]} \quad (3)$$

である。ベース電流はきわめて小さいので $I_C = I_E$ とすると

$$V_B = I_C \cdot R_E + V_{BE} \text{ [V]} \quad (4)$$

3. エミッタの直流電位 V_E は V_B よりも V_{BE} だけ低い値なので

$$V_E = V_B - V_{BE} \text{ [V]} \quad (5)$$

これは、(2) 式からもわかる。

4. コレクタの電位 V_C は、電源電圧 V_{CC} から R_C による電圧降下を引いた値なので、

$$V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C \text{ [V]} \quad (6)$$

また、 $I_C = I_E$ より、

$$V_C = V_{CE} + I_C \cdot R_E \text{ [V]} \quad (7)$$

と表すことができる。

2.2 電圧増幅度〔交流利得〕について

1. 交流入力電圧 v_i とエミッタ交流電流 i_e の関係は、ベース-エミッタ間にバイアス電圧 V_B が順方向に加わっているため、見かけ上抵抗ゼロとなり、 v_i がそのままエミッタに現れるので、

$$i_e = \frac{v_i}{R_E} \text{ [A]} \quad (8)$$

2. コレクタ電圧の交流分を v_c 、コレクタ電流の交流分を i_c とすると、

$$v_c = i_c \cdot R_C \text{ [V]} \quad (9)$$

ここで $i_c \cong i_e$ なので

$$v_c = i_e \cdot R_C = \frac{v_i}{R_E} \cdot R_C \text{ [V]} \quad (10)$$

3. 交流出力電圧 v_o は、直流カットコンデンサ(カップリングコンデンサ) C_2 をとおして v_o と接続されている。よって、 v_c がそのまま v_o として出力されるので

$$v_o = v_c = \frac{v_i}{R_E} \cdot R_C \text{ [V]} \quad (11)$$

4. 電圧増幅度 A_v は、

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_C}{R_E} \text{ [倍]} \quad (12)$$

となり、 R_E と R_C の比で表されることがわかる。

一般的に、交流利得 G_v は、

$$G_v = 20 \log A_v = 20 \log \frac{v_o}{v_i} = 20 \log \frac{R_C}{R_E} \text{ [dB]} \quad (13)$$

のように、単位をデシベルで表示する。

ただし、この回路に負荷を接続する場合、きわめてインピーダンスの大きい場合に限り (12), (13) 式が成り立つことに注意。

3. 実験回路

図 2 はエミッタ設置の増幅器である。ブレッドボード上にこの回路を組む。
表 1 は回路用の機材である。入力，出力はオシロスコープで測定する。

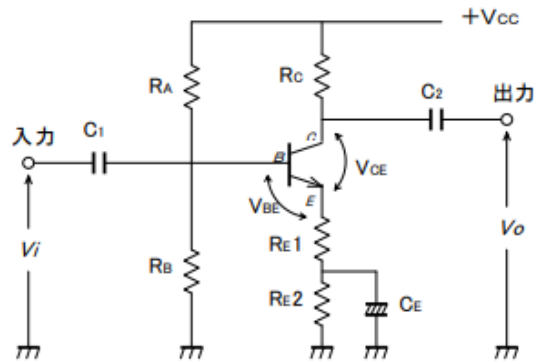


図 2 エミッタ設置トランジスタ増幅器

表 1 使用器具

Vcc	直流安定化電源 18-1.8
トランジスタ	前回の実験で使用したもの
抵抗・コンデンサ	設計値の近似値をしようする
ブレッドボード	このボード上に回路を組む
ジャンプワイヤ	結線用
デジタルマルチメータ	各部の電圧測定用
入力 vi	低周波発振器
出力 vo	オシロスコープで測定

4. 実験内容

4.1 回路設計の手順

- 電源電圧 V_{CC} と V_{CE} の決定
 V_{CC} は 14V とし，トランジスタのコレクタ-エミッタ間電圧 V_{CE} を V_{CC} の $3/7$ とする．
(6V)
- ベース電流 I_B とコレクタ電流 I_C (I_E) の決定 I_B は $30\mu A$ とし， I_B が $30\mu A$ のときの I_C を設定する．(B5 静特性の表参照)
- V_{BE} の決定 静特性において， I_B が $30\mu A$ のときの V_{BE} を設定する．(B5 静特性の表参照)
- 直流負荷抵抗 (R_C+R_E) の決定

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE} + I_E \cdot R_E \text{ [V]} \quad (14) \text{ より,}$$

$$R_C + R_E = \frac{V_{CC} - \frac{3}{2}V_{CE}}{I_C} \quad [\Omega] \quad (15)$$

ここで、回路の安定性を保つための適切な電流帰還量を考えた場合、 R_C と R_E の比を 5 : 1 にするとよい結果が得られる。

$$R_C : R_E = 5 : 1$$

$$\therefore R_E = \frac{R_C + R_E}{6} \quad [\Omega] \quad (16)$$

(12), (13) 式から、この回路の利得は 5 倍 (14dB) となる。

5. R_A, R_B の決定

(3) 式より、ベースバイアス電圧 V_B を求める。

ベースバイアス抵抗 R_B には、普通 I_B の 10 倍のバイアス電流を流すので、

$$R_B = \frac{V_B}{10I_B} \quad [\Omega] \quad (17)$$

$$R_A = \frac{V_{CC} - V_B}{11I_B} \quad [\Omega] \quad (18)$$

6. C_1, C_2 の決定

まず、カットオフ周波数 f_{CL} を 100Hz とする。

C_1 は、トランジスタの I_B が極めて小さいので入力インピーダンスが無限大とすれば、 C_1 より見た入力インピーダンスは R_A と R_B の並列とみなせるので、
カットオフ周波数（振幅特性が、 $1/\sqrt{2}$ (-3dB)）を f_{CL} とすると

$$C_1 \geq \frac{1}{2\pi f_{CL} \frac{R_A R_B}{R_A + R_B}} \quad [F] \quad (19)$$

となる。

C_2 は、負荷端に接続するインピーダンスによって変化するので実験では C_1 とおなじ値にしておく。

ただし、負荷にインピーダンスを $Z_L [\Omega]$ を接続したら

$$C_1 \geq \frac{1}{2\pi f_{CL} |Z_L|} \quad [F] \quad (20)$$

となる。

4.2 利得の変更

回路利得をもっと大きくしたい場合、図 2 のように R_E を R_{E1} , R_{E2} に分割し、 R_{E2} に並列にコンデンサを入れて交流分をバイパスすると

(12) 式は、

$$A_v = \frac{v_i}{v_o} = \frac{R_C}{R_{E1}} \quad [\text{倍}] \quad (21)$$

となり利得が大きくなる。これで R_E の分割比を変えることにより利得が自由に設定できることがわかる。このコンデンサ C_E をバイパスコンデンサという。

$$C_E \geq \frac{1+h_{ie}}{2\pi f_{CL} \cdot (\frac{R_A \cdot R_B}{R_A+R_B} + h_{ie})} \text{ [F]} \quad (22)$$

このとき，

$$h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad (23)$$

$$h_{ie} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \quad (24)$$

とする。

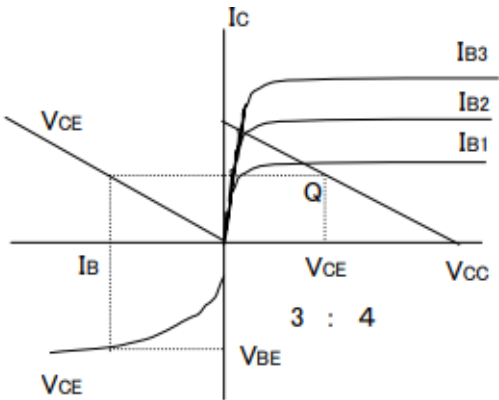


図3 エミッタ設置のトランジスタ静特性

5. 実験結果

5.1 回路設計

4.1 より、回路で扱う各素子の計算値と実測値を表2に示す。

また、今回の実験では利得が7倍になるようにした。

表2 各素子の計算値と実測値

素子名	計算値	実測値
R _A	36.4kΩ	36.0kΩ
R _B	6.7kΩ	6.49kΩ
R _C	1167Ω	1091Ω
R _{E1}	168Ω	160Ω
R _{E2}	65Ω	62.6Ω
C ₁	0.28μF	0.34μF
C ₂	0.28μF	0.34μF
C ₃	47μF	107.8μF

5.2 電圧・電流の測定

テスターを用い増幅器各部の直流電圧を測定し、表 3 に示す。

表 3 各部の電圧と電流

	設定値	測定値	誤差[%]
V_C [V]	7.46	7.60	1.9
V_B [V]	2.00	1.96	2.0
V_E [V]	1.30	1.31	0.8
V_{CE} [V]	6.00	6.31	5.2
V_{BE} [V]	0.69	0.67	2.9
I_C [mA]	5.60	5.85	4.5

5.3 増幅度の測定

図 2 の測定回路で増幅度を計測し、表 4 に示す。

表 4 増幅度(電圧利得)

周波数	V_i [V _{p-p}]	V_o [V _{p-p}](測定)	G_v [dB](測定)	G_v [dB](設定)	誤差[%]
1kHz	0.50	3.30	16.39	16.90	3.01
f_{CL}	0.50	2.15	12.70	13.90	8.63

5.4 入出力特性の測定(入出力直線性の測定)

図 2 の測定回路を用いて表 5 を完成し、グラフを図 4 に示す。

入力電圧の周波数を $f = 1kHz$ とし出力が飽和するまで測定する。

入出力特性は方眼紙に記入し横軸を入力電圧、縦軸を出力電圧とする。

表 5 入出力特性

$V_i (V_{p-p})$	$V_o (V_{p-p})$	$G_v (dB)$
0.1	0.55	14.81
0.2	1.36	16.65
0.3	1.88	15.94
0.4	2.56	16.12
0.5	3.2	16.12
0.7	4.48	16.12
1	6.56	16.34
1.2	7.44	15.85
1.4	9.04	16.20
1.5	9.6	16.12
1.6	10.4	16.26
1.7	10.8	16.06
1.8	11.4	16.03
1.9	12	16.01
2	12	15.56
2.5	12.4	13.91
3	12.4	12.33

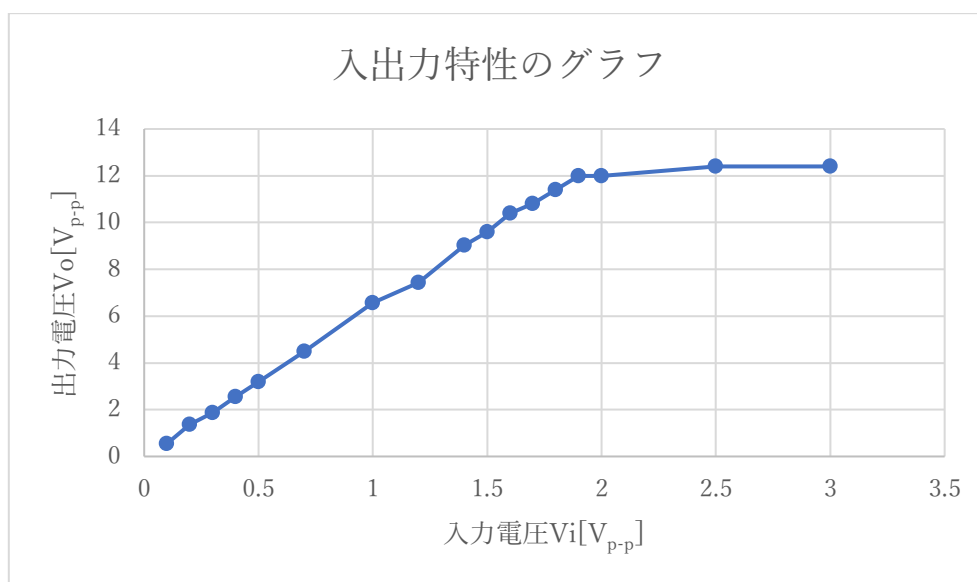


図 4 入出力特性のグラフ

5.5 周波数特性の測定

図2の測定回路を用いて、表6を完成し、グラフを図5に示す。

入力電圧を $v_i = 0.5[V_{p-p}]$ ，測定周波数 f は，1，2，4， 7×10^n ($n=1, 2, 3, 4$) Hz とし，100kHzまで測定する．また、10，20Hz は測定しない．

周波数特性は片対数グラフを用いて横軸を周波数，縦軸を利得とする．

表6 周波数特性

周波数[f]	$V_o[V_{p-p}]$	$G_v[dB]$
40	1.08	6.69
70	1.58	9.99
100	2.16	12.71
200	2.74	14.78
400	3.04	15.68
700	3.08	15.79
1000	3.2	16.12
2000	3.2	16.12
4000	3.2	16.12
7000	3.2	16.12
10000	3.2	16.12
20000	3.2	16.12
40000	3.2	16.12
70000	3.2	16.12
100000	3.2	16.12

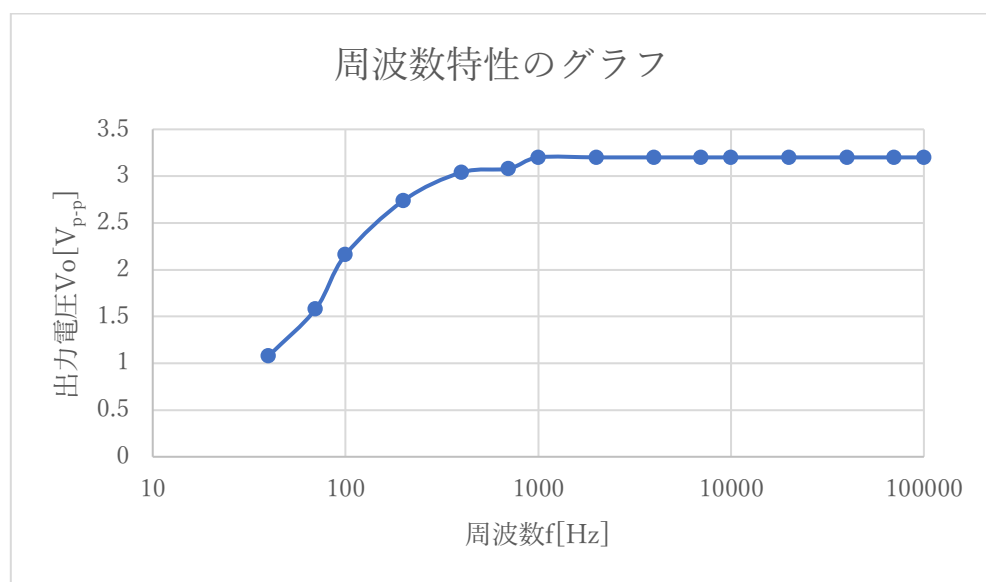


図5 周波数特性のグラフ

6. 研究課題

利得を大きくするのに R_E を分割し、 R_{E2} に C_E を入れたが R_{E1} と R_{E2} の数値を入れ替えるとどうなるか考察せよ。

実際に実験で使用した素子の値を基に計算すると、

$$A_v = \frac{R_C}{R_{E1}} = \frac{1091}{160.0} = 6.82 \text{ [倍]}$$

R_{E1} と R_{E2} を入れ替えて計算すると、

$$A_v = \frac{R_C}{R_{E1}} = \frac{1091}{62.6} = 17.43 \text{ [倍]}$$

となり、利得が大きくなることがわかる。

7. 感想

回路の設計や計算から、各素子の値を求め、正しい素子を使うことができて良かった。

トランジスタ増幅器の回路の仕組みを理解できてよかった。