

# 第5週レポート

10 班 山村優太

2024 年 11 月 6 日

## 1 目的

エミッタ接地増幅回路における電圧利得と位相の周波数特性を測定し、トランジスタの動作原理について理解を深める。

## 2 原理

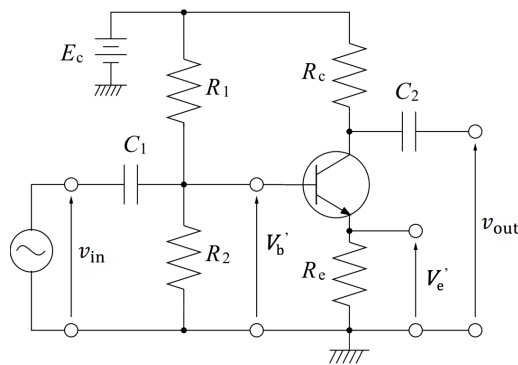


図1 エミッタ接地増幅回路

図1に示したエミッタ接地増幅回路を考える。本レポートでは、基礎実験テキストと同様に、電圧電流は大文字にダッシュを付けて表し、ダッシュのない大文字でバイアス成分、小文字で小信号成分を表すこととする。信号成分のみに着目すると、ベース電圧、コレクタ電圧について

$$v_b = v_{in} \quad (1)$$

$$v_e = v_b - v_{be} \quad (2)$$

の関係が成り立つ。エミッタ電流はエミッタ抵抗とエミッタ電圧を用いて

$$i_e = \frac{v_e}{R_e} \quad (3)$$

と表される。また、出力電圧はコレクタ電流がエミッタ電流に近似されることを用いて

$$v_{\text{out}} = -R_c i_c \simeq -R_c i_e \quad (4)$$

と表される。ベース・エミッタ間電圧が一定である、すなわち  $v_{be} = 0$  と仮定すると、式 (1) から式 (4) より、入力電圧と出力電圧の間には

$$v_{\text{out}} = -\frac{R_c}{R_e} v_{\text{in}} \quad (5)$$

の関係が成り立つ。ベース・エミッタ間電圧が一定とみなせないとき、ベース電圧はベース広がり抵抗  $r_b$ 、電流増幅率  $\beta$  を用いて

$$v_b = v_{be} + R_e i_e = r_b i_b + R_e i_e \quad (6)$$

$$= r_b i_b + (1 + \beta) R_e i_b \quad (7)$$

と表されるので、入力電圧と出力電圧の間には

$$v_{\text{out}} = \frac{-R_c i_c}{r_b i_b + (1 + \beta) R_e i_b} v_{\text{in}} = \frac{-\beta R_c i_b}{r_b i_b + (1 + \beta) R_e i_b} v_{\text{in}} \quad (8)$$

$$= \frac{-\beta R_c}{r_b + (1 + \beta) R_e} v_{\text{in}} \simeq -\frac{R_c}{\frac{r_b}{\beta} + R_e} v_{\text{in}} \quad (9)$$

の関係が成り立つ。これより、電圧利得  $A_v$  は

$$A_v = \left| \frac{v_{\text{out}}}{v_{\text{in}}} \right| = \frac{R_c}{\frac{r_b}{\beta} + R_e} \quad (10)$$

と表され、特にベース電圧を一定とみなす場合は

$$A_v = \frac{R_c}{R_e} \quad (11)$$

と表される。ここで、図 1 のエミッタ抵抗に並列にコンデンサ  $C_e$  を挿入したとき、

$$R_e \rightarrow R_e // C_e = \frac{R_e}{1 + j\omega C_e R_e} \quad (12)$$

となり、これを式 (10) に代入して

$$A_v = \left| \frac{R_c}{\frac{r_b}{\beta} + \frac{R_e}{1 + j\omega C_e R_e}} \right| \quad (13)$$

を得る。特にベース電圧を一定とみなす場合は

$$A_v = \frac{R_c}{R_e} \sqrt{1 + \omega^2 C_e^2 R_e^2} \quad (14)$$

となる。

### 3 方法

#### 実験 6.5.1

1. 図 1 に示したエミッタ接地増幅回路をブレッドボード上に作成する. 各素子の値は以下のようになる.
  - 電源電圧:  $E_c = 5\text{ V}$
  - 抵抗:  $R_c = 3.3\text{ k}\Omega$ ,  $R_e = 1.0\text{ k}\Omega$ ,  $R_1 = 33\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 10\text{ k}\Omega$
  - コンデンサ:  $C_1 = C_2 = 10\text{ }\mu\text{F}$
2. 回路の入力端子に振幅  $0.1\text{ V}$ , 周波数  $1\text{ kHz}$  の正弦波を入力信号として印加する.
3. オシロスコープを用いて, 入力電圧  $v_{\text{in}}$  と出力電圧  $v_{\text{out}}$  の波形および振幅比を観測する.
4. 同様に, ベース電位  $V'_b$  とエミッタ電位  $V'_e$  の波形および電位差の変化を観測する.

#### 実験 6.5.2

1. 図 1 のエミッタ抵抗  $R_e$  に並列に容量  $C_e = 1\text{ }\mu\text{F}$  のコンデンサを挿入して同様の観測を行い, 電圧利得の絶対値および位相の周波数依存性を測定する.
2. 出力電圧  $v_{\text{out}}$  が  $0.5 \sim 1.0\text{ V}$  程度となるように,  $v_{\text{out}}$  が歪まない範囲で入力電圧  $v_{\text{in}}$  を適宜調整する.
3. 周波数は  $50\text{ Hz}$  から  $20\text{ kHz}$  の範囲で変化させ, 測定結果は周波数を対数軸としてプロットする.

### 4 使用器具

- ファンクションジェネレータ 33210A
- オシロスコープ DSOX2002A
- 直流電源 PA18-1.2B
- 抵抗  $1.0\text{ k}\Omega$ ,  $3.3\text{ k}\Omega$ ,  $10\text{ k}\Omega$ ,  $33\text{ k}\Omega$
- コンデンサ  $10\text{ }\mu\text{F} \times 2$
- npn 型トランジスタ 2SC1815
- ブレッドボード
- ジャンパーワイヤー, コード, アダプター各種

## 5 結果

### 実験 6.5.1

実験 6.5.1 の結果を図 2, 3 に示す. 図 2 は入力電圧  $v_{in}$  (黄色) と出力電圧  $v_{out}$  (緑色) の波形である. 図 3 はベース電位  $V'_b$  (黄色), エミッタ電位  $V'_e$  (緑色), ベース・エミッタ間電圧  $V'_{be}$  (桃色) の波形である.

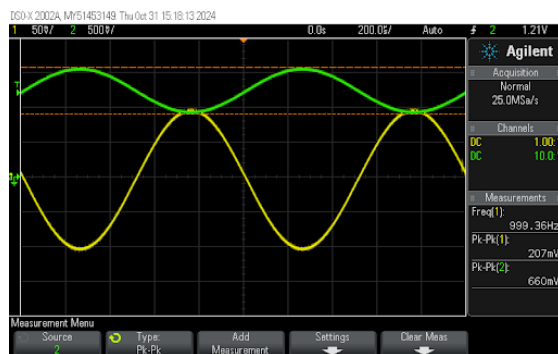


図 2  $v_{in}$  と  $v_{out}$  の波形



図 3  $V'_b$ ,  $V'_e$ ,  $V'_{be}$  の波形

図 2 より,  $v_{in}$  の P-P 値は 207 mV,  $v_{out}$  の P-P 値は 660 mV であり, それらの位相は反転している. また, 図 3 より  $V'_b$  の P-P 値は 225 mV,  $V'_e$  の P-P 値は 480 mV である. さらに, 大きなノイズが含まれているが,  $V'_{be}$  は正弦波を示している.

### 実験 6.5.2

実験 6.5.2 の結果を図 4 に示す.

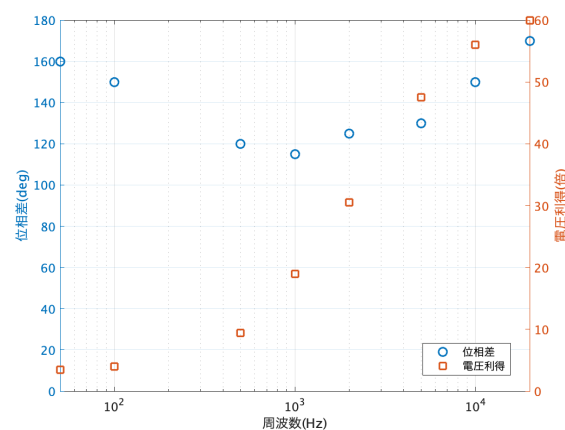


図 4 電圧利得と位相差の周波数特性

位相差はおよそ  $160^\circ$  から  $120^\circ$  まで減少し、その後反転しておよそ  $170^\circ$  まで増加している。また、電圧利得はおよそ 3 倍から単調増加し、最終的には 60 倍に達しているが、60 倍付近では傾きが緩やかになっている。コンデンサを挿入しない場合の電圧利得は  $A_v = 3.2$  倍であり、周波数依存性は見られなかった。

## 6 考察

### 実験 6.5.1

$v_{in}$  の P-P 値は振幅 100 mV のほぼ 2 倍であり、 $v_{out}$  の P-P 値は式 (11) より計算される理論値である 660 mV と一致した。 $v_{in}$  と  $v_{out}$  の位相が反転しているのは、式 (5) の理論と一致している。また、 $V'_b$  の大きさは  $v_{in}$  の大きさとほぼ等しく、式 (1) の理論と一致している。 $V'_e$  の P-P 値は 480 mV と表示されているが、これはノイズの影響であり、実際はグラフより  $V'_b$  の P-P 値とほとんど同じである。これは、ベース・エミッタ間電圧が一定であると仮定したときの式 (2) に対応している。しかし、 $V'_{be}$  が正弦波を示していることから、実際にはベース・エミッタ間電圧は一定ではなく、入力信号の影響を受けていることがわかる。

### 実験 6.5.2・問題 6.4

電圧利得のグラフは単調増加しており、これは式 (14) の理論と一致している。また、コンデンサ  $C_e$  を挿入したことで電圧利得が 3.2 倍から大幅に増加したのは、式 (12) にも示されるように、エミッタ側のインピーダンスが低下したためである。さらに、周波数 1 kHz における電圧利得の理論値は式 (14) により  $A_v = 21$  倍と求められ、この値は実験値の 19 倍とおおよそ一致している。電圧利得が飽和する理由は、遮断領域ではベース電圧が一定とはみなせないため、式 (13) より

$$A_v \rightarrow \beta \frac{R_c}{r_b} \quad \text{as } f \rightarrow \infty \quad (15)$$

となるためである。

## 7 感想

実験を通して、苦手意識のあったトランジスタの動作原理について理解を深めることができた。特に、電圧や電流をバイアス成分と信号成分に分けて考えることが重要だと感じた。能動素子のみの回路に比べると直感的に理解しにくく、考察に苦労した。