

7. トランジスタの特性 II ～動特性～

1. 目的

トランジスタを用いたエミッタ接地増幅回路の入力信号電圧に対する増幅度および増幅度の周波数特性を測定し、トランジスタ増幅回路の動作を理解する。

2. 原理

トランジスタ回路はトランジスタを働かせるのに必要なエネルギーを供給する直流回路と処理される信号の通路である交流回路とに分けて解析がなされる。この直流回路のように入出力端にエネルギー源として直流を加えることを「バイアスをつける」といい、この回路のことを「バイアス回路」という。また、この時加える直流電圧をバイアス電圧、流れる電流をバイアス電流という。図7.1は、最も簡単なバイアス回路で、固定バイアス回路と呼ばれる。直流電源の電圧 V_{CC} をバイアス抵抗 R_B で降圧して、バイアス電圧 $V_{BE}(=V_{CC}-V_{RB})$ を得る。このとき、 R_B を流れるバイアス電流を I_B とすると、 $I_B=(V_{CC}-V_{BE})/R_B$ となる。 V_{BE} の値は、Si トランジスタでは $0.6\sim 0.7V$ である。ゆえに、 V_{CC} の値が決まればバイアス電流 I_B は、 V_{CC} と R_B で決まり、一定となる。これが固定バイアス回路と呼ばれる由縁である。

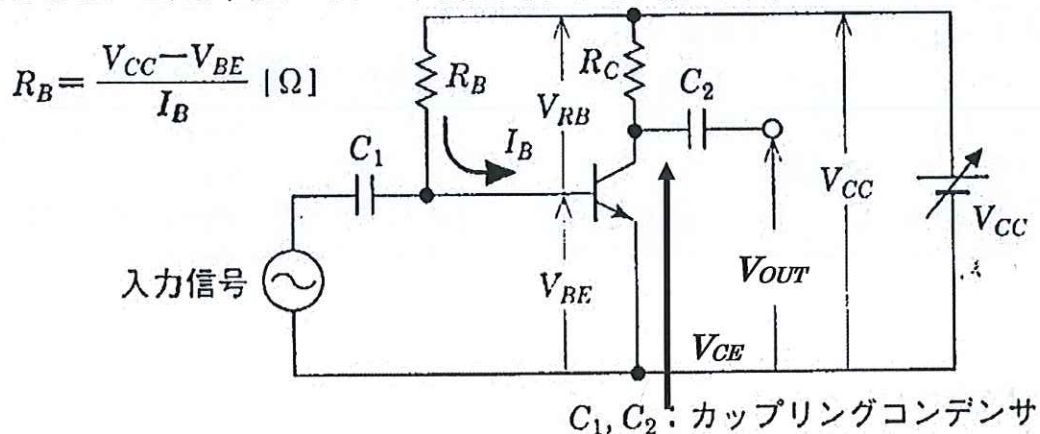


図7.1 固定バイアス回路

3. 固定バイアス回路の設計

増幅回路におけるバイアス回路の設計とは、増幅回路の条件(仕様という)を満足するように、回路を構成している素子値(パラメータ)を決定することである。設計条件(仕様)は、回路設計を行うときに、最初に確認しなければならないことである。次の1～4にバイアス回路の設計条件を示す。

- 1: $V_{CC} = \underline{\hspace{2cm}} V$ *担当教員が値を指示。
- 2: $I_C = \underline{\hspace{2cm}} mA$ *担当教員が値を指示。
- 3: 被測定トランジスタ: 2SC1815($h_{FE}=180$, $V_{BE}=0.6V$)
- 4: $V_{CE} = V_{CC}/2$

設計条件(仕様)で示した各値より、次の(1)と(2)の値を決定する。以下の方法で各自計算し、

結果を記入すること。

(1) R_C の決定

⇒ R_C は「負荷抵抗」と呼ばれ、出力を取り出すために必要な抵抗である。まず、図7.1での電圧、電流の関係を考えると、 V_{CC} は式①で表せる。

$$V_{CC} = (R_C \text{による電圧降下}) + V_{CE} = I_C \cdot R_C + V_{CE} \quad \dots\dots\dots ①$$

ここで、 V_{CC} と I_C は設計条件にて与えられているので、式①より R_C は式②で決定される。

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = \frac{\quad}{\quad} \text{ k}\Omega \quad \dots\dots\dots ②$$

(2) R_B の決定

⇒ 電流増幅率 $h_{FE} = I_C / I_B$ より、設計条件から I_B は式③で決定される。

$$I_B = I_C / h_{FE} = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad} \mu\text{A} \quad \dots\dots\dots ③$$

ここで、 R_B は図7.1にも示したように、式④で表せる。

$$R_B = (R_B \text{による電圧降下 : 図7.1の } V_{RB}) / I_B = (V_{CC} - V_{BE}) / I_B \quad \dots\dots\dots ④$$

よって、設計条件と式④より R_B は、式⑤で決定される。

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{\quad}{\quad} \text{ k}\Omega \quad \dots\dots\dots ⑤$$

(参考：電圧増幅度と電圧利得)

□ 電圧増幅(amplification)度の算出法

➤ 入力信号電圧(v_{be})と出力信号電圧(v_{ce})との比を電圧増幅度(A_V)という。

$$\diamond A_V = v_{ce} / v_{be}$$

□ 電圧利得(gain)の算出法

➤ 電圧増幅度はデシベル[dB]で表わすことが多く、これを電圧利得(G_V)という。

4. 測定

4-1. 測定項目

これまで述べてきたトランジスタの以下(ア)、(イ)における動特性の測定を行う。

(ア) 入力電圧に対する電圧増幅度

(イ) 増幅度の周波数特性

4-2. 使用機器

[1] 半導体実習装置：ITF-05 (図6.10を参照のこと)

[2] 2現象オシロスコープ(2チャンネル) Model：CTO-2020D 1台

[3] 低周波発信器 Model：GAG-810 1台

[4] 電子電圧計 2台

[5] 直流電圧計 DC 10V max 1台

[6] npn トランジスタ 2SC1815Y

4-3. 測定用回路の組立てと初期設定

p.27, 図5.4に示した「半導体実習装置 ITF-05」(以下、実習装置)を参照し、図7.2に示した

測定増幅回路を次の(1)～(10)に従って、被測定トランジスタ、電圧計および電流計を接続し、測定用回路を組立てる。(以下、端子**とは、実習装置に配置されている端子を表わしている。)

(1) 設計したバイアス回路を用いた増幅回路(図7.2)を測定する。各定数(パラメータ)を下の空欄に整理する。

⇒ 被測定Tr: 2SC , $h_{FE} =$ _____ , $R_C =$ _____ k Ω , $R_B =$ _____ k Ω

(2) 図7.2を参考にし、設計した増幅回路を実習装置に組込む。

㊟ 実習装置の使用手順および使用上の諸注意は「トランジスタの特性 I」の測定手順を参照すること。

(3) 図7.2の V_{CC} としては、実習装置の電圧源を使用する。

(4) 端子C5とC6の間に V_{CC} 調節用の直流電圧計を接続する。

㊟ 今回は、実習装置の電流源は使用しない。

(5) 端子C1とC2の間に負荷抵抗 R_C を、端子B13とB15の間にバイアス抵抗 R_B を各々挿入する。

(6) 実習装置の V_{SB} -IMPULS(交流電圧入力端子)に、発信器を接続する。

(7) 図7.2の交流電圧「 v_{be} 」と「 v_{ce} 」に、オシロスコープと電子電圧計で観察、測定できるように接続する。

(8) 次に示す手順にて、測定項目(ア)(イ)について測定を行う。

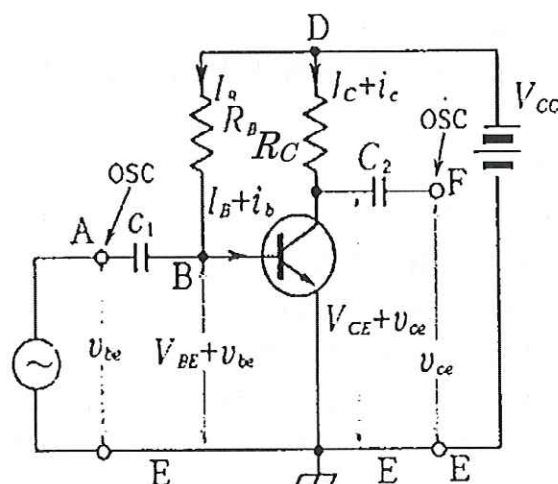


図 7.2 測定増幅回路(実験用回路)

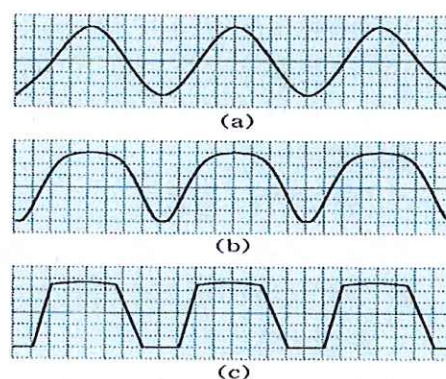
4-4. 測定用回路(トランジスタ)の動特性の測定

4-4-1. 入力電圧に対する電圧増幅度

(1) 結線に誤りのないことを確認し、 V_{CC} を設計値に調節した後に、入力端子に発信器より正弦波、500Hzの信号を加える。測定中に、入力信号 v_{be} 波形が歪むようであれば、ATTENUATORを調節して歪みを無くす。

(2) 発信器からの入力信号電圧(v_{be})と増幅器からの出力信号電圧(v_{ce})を電子電圧計で測定する。結果を表7-1(p.42)に書き込む。また、同時にオシロスコープ(OSC)で観測する。表7-1の出力波形欄に出力波形の変化の様子を書き込みなさい(図7.3も参照)。

入力信号電圧 v_{be} (mV)	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	15	18	20
出力信号電圧 v_{ce} (V)	.140	.275	.420	.545	.690	.810	1.04	1.24	1.43	1.60	1.75	1.88	2.00
電圧増幅度 $A_v = v_{ce}/v_{be}$	140	138	140	130	138	135	130	124	119	114	109	104	100
備考 波形等	ややひずみはじめる						上下クリップはじめる						



右図(a) 歪み無し (b) 歪み有り (c) 上下クリップ

図7.3 v_{ce} オシロスコープ出力波形の例

4-4-2. 増幅度の周波数特性

「4-4-1」, 測定項目(ア)において, 出力信号 v_{ce} が歪まなかった入力信号電圧 v_{be} の1つを選択し, 記入しておく. (____ mV).

- 選択した入力信号電圧 v_{be} を一定のもとで, 発信器の発信周波数を徐々に高くして行った時の周波数と出力電圧 v_{ce} との関係を求め,
- 表7-2(p.42)に整理する. * 報告書には, 選択した v_{be} の値を記入しておくこと.

5. 測定結果の考察と課題

- 測定項目(ア)について, 表7-1の関係をグラフ化($v_{be}-A_v$ 特性)し, 考察する.
 - ⇒ グラフは, 横軸を v_{be} , 縦軸を A_v とする.
 - ⇒ 作成したグラフより, 増幅器の平均増幅度を求めなさい.
- 測定項目(イ)について, 電圧利得を計算し, 表7-2を完成させる.
 - ⇒ 表7-2をグラフ化(片対数方眼紙を用い, 横軸を周波数 f , 縦軸を電圧利得 G_v とする)した後, 信号周波数と電圧利得について考察し, 高域遮断周波数を求める.

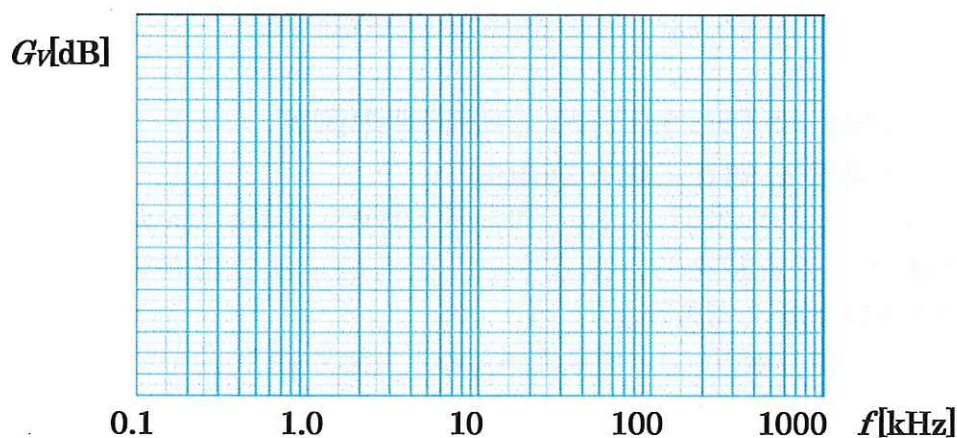


図 片対数方眼紙

6. 参考資料

6-1. トランジスタ2SC1815の特性

以下は、これまで実験で使用してきたトランジスタ2SC1815の特性である。

- 高耐圧でしかも電流容量が大
 - $V_{CEO}=50\text{V}$ (最大), $I_C=150\text{mA}$ (最大)
- 直流電流増幅率の電流依存性が小
 - $h_{FE}=100$ (標準 $V_{CE}=6\text{V}$, $I_C=150\text{mA}$)
 - $h_{FE}(I_C=0.1\text{mA})/h_{FE}(I_C=2\text{mA})=0.95$
- 低雑音NF=1dB(標準) ($f=1\text{kHz}$)
- 2SA1015と相補的(complementary)

項目	記号	定格	単位
コレクタ・ベース間電圧	V_{CBO}	60	V
コレクタ・エミッタ間電圧	V_{CEO}	50	V
エミッタ・ベース間電圧	V_{EB0}	5	V
コレクタ電流	I_C	150	mA
ベース電流	I_B	50	mA
コレクタ損失	P_C	400	mW
接合部温度	T_j	125	°C

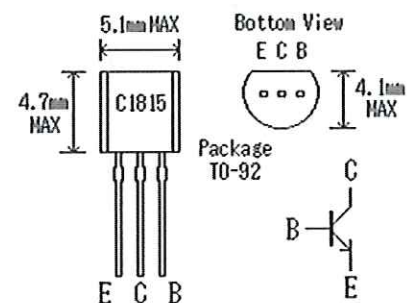
最大定格

2SC1815の h_{FE} 分類
($V_{CE}=6\text{V}$, $I_C=2\text{mA}$)

O : 70~140
Y : 120~240
GR : 200~400
BL : 350~700

 h_{FE} 分類

2SC1815 (TOSHIBA)

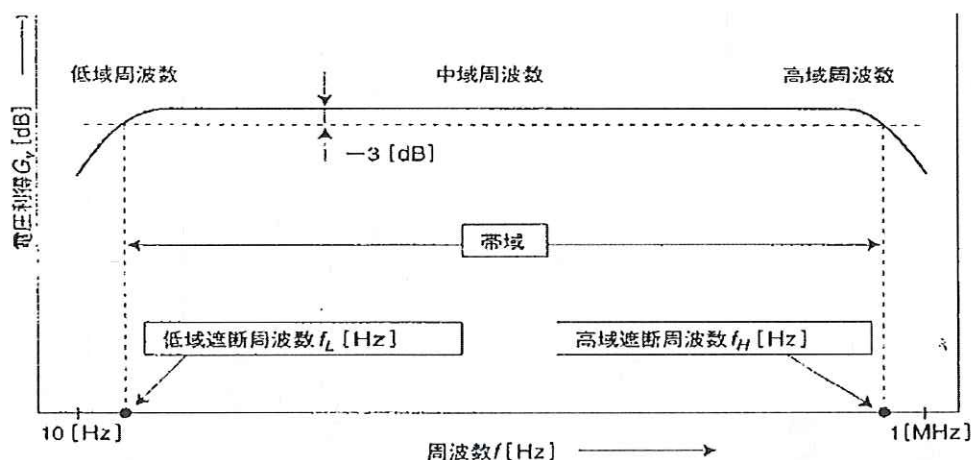


外観図

参考 トランジスタ2SC1815の特性と外観

6-2. 電圧利得の周波数特性

以下の図は、電圧利得の周波数特性を示した図である。測定項目(イ)の測定より得られた結果をグラフ化(片対数方眼用紙)する際に参考にする事。



参考 電圧利得の周波数特性

表7-1 入力電圧と電圧増幅度

[illegible]

表7-2 増幅度の周波数特性

[illegible]