

510 電子回路設計製作実験

1. 目的

トランジスタを用いて増幅回路の設計・製作を行う。また、製作した増幅器の諸特性を測定し、計算値との比較を行うことにより、電子回路および電子計測に関する基本的概念について理解を深める。

実験の1週目は静特性を測定して動作点を設定し、また、例示回路を組んで波形を観察する。2週目までに各自で回路の設計を行う。2週目では設計値に従って回路の製作を行い、製作した増幅回路の特性を測定する。

【実験の流れ】

- | | | |
|----------------|-----|---------------------------------------|
| (1) 1週目 | ... | 静特性の測定
例示された増幅回路の組み立て、および回路各部の波形観測 |
| (2) 1→2週目 | ... | 静特性のグラフ作成
与えられた仕様を満たすように増幅回路を設計 |
| (3) 2週目 | ... | 設計した増幅回路の製作と、回路の周波数特性および入出力特性の測定 |
| (4) 2週目→レポート提出 | ... | 自分が設計した回路について、等価回路計算による計算値の算出 |

2. 設計の概要

図1にエミッタ接地増幅回路の一例を示す。増幅回路では、入力電圧 V_{in} に対して、出力電圧 V_{out} の振幅は増幅(または等倍)され、波形は無ひずみである。このとき、入力と出力の間での位相のずれは問題としないものとする。

トランジスタで増幅回路を実現するには、トランジスタに適切な直流電圧と直流電流を供給する必要がある。この直流電圧・電流のことをバイアスと呼び、特に、回路を動作させるためのバイアス条件を動作点と呼ぶ。図1において V_{CE} 、 I_B 、 I_C がそれに当たり、今回の設計の初期値となる。

本実験で言う回路設計とは、トランジスタが所望の動作をするように、各抵抗値およびコンデンサ値を求めることを指す。実験では、異なる特性のトランジスタを用いて、各人ごとの増幅回路を設計・製作する。

【設計の初期値】	動作点における V_{CE} 、 I_B 、 I_C の測定値
【基本となる設計仕様】	低域遮断周波数 $f_{lowc} : 1$ [kHz] 電源電圧 $V_{CC} : 12$ [V]
【各自で異なる設計仕様】	電圧利得 $A_v : 40$ [dB]を超えない範囲で設定する。 増幅回路の接地方式: エミッタ接地, コレクタ接地, ベース接地 のいずれかを選択する。

今回使用するトランジスタは2SC1815(東芝)である。その外観を図2に示す。ところで、2SC1815には直流電流増幅率 h_{FE} が異なるグレード、O(:Orange, $h_{FE} = 70\sim 140$)、Y(:Yellow, $h_{FE} = 120\sim 240$)、GR(:Green, $h_{FE} = 200\sim 400$)、BL(:Blue, $h_{FE} = 350\sim 700$)があるので各自で確認すること。詳しいデータは、添付のデータシートまたは他の規格表やデータブックおよびホームページ(<http://www.semicon.toshiba.co.jp/>)を利用して調べる。

各端子(エミッタ, コレクタ, ベース)の配置は図2を参考にすること。

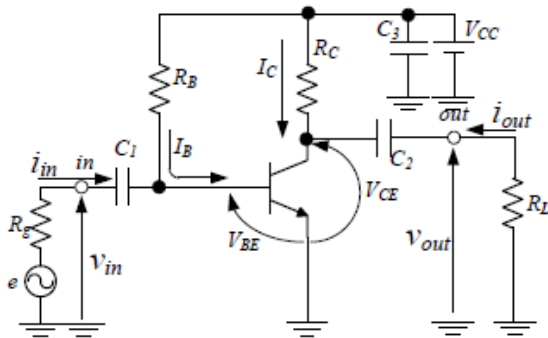


図1 エミッタ接地増幅回路

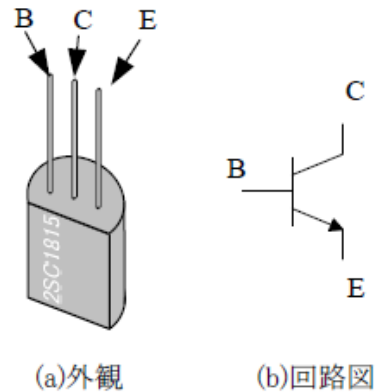


図2 トランジスタの外観

3. 静特性の測定

設計に必要な動作点を求めるためには、静特性(直流特性)の測定を行う必要がある。図3の回路により手動計測を行うこと。本実験では適切なフルスケールの計器を用いて測定を行う。なお、ベース側の電流電源には十分大きな抵抗(50 ~ 200 kΩ程度)を直列に入れること。ただし、測定は、 $I_B = 40 \mu A$ の場合のみで良い。

また、測定結果は各自データとして保存し、グラフにすること。さらに、グラフより h パラメータ h_{FE} を求めること。

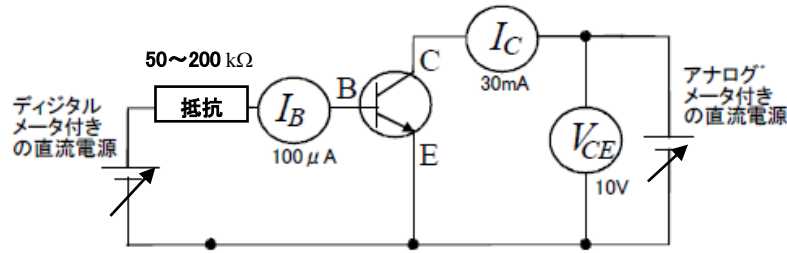


図3

測定結果より静特性は、図4の $V_{CE}-I_C$ 特性が得られる。これから動作点を決めること。

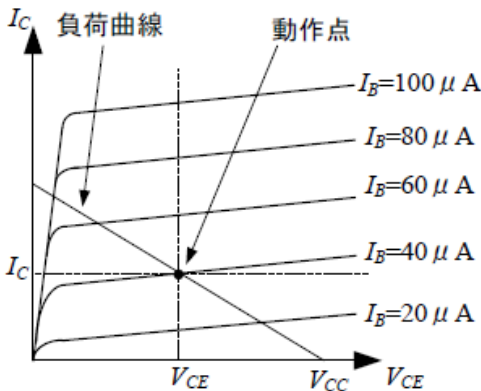


図4 $V_{CE}-I_C$ 特性

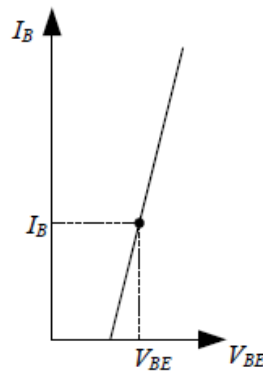


図5 $V_{BE}-I_B$ 特性

動作点の決め方

- $V_{CE} = 6 V$ とする。
- I_B は20、40、60、80、100 μA のどの点でもよいが、決めかねる場合は40 μA とするとよい。
- V_{CE} 、 I_B より静特性の測定結果から I_C を求めること。

4. 増幅動作の波形観測

ここでは、増幅回路の波形をオシロスコープで観測し、トランジスタの増幅動作を理解することが目的である。

- (1) 別紙にある、電子回路の教科書(pp.80-81)の回路を参考にしてブレッドボード上に回路を組む。このとき、 C_E は外すこと。結線が完成したら、直流電源を加える前にテスターで直流電源の+と-端子の導通チェックをすること。
- (2) 図6の①~⑤の各点について波形を観測し、USBメモリに保存すること。図7のように、①と⑤はGND(0 V)を共通に、②~④もGNDを共通にして作図すること。

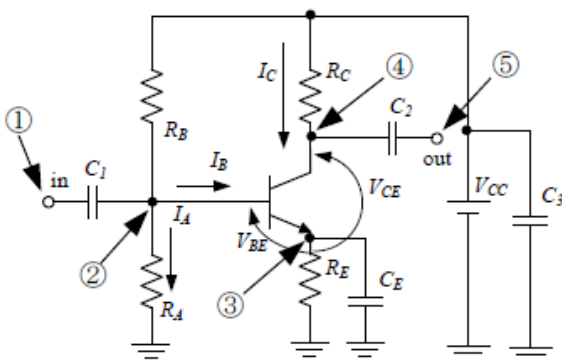


図6 波形観測点

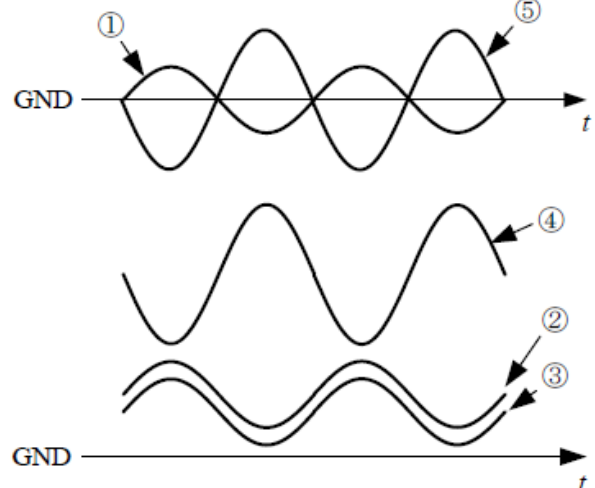


図7 各観測点の波形の概要

- (3) 増幅回路の出力波形が図8のようにクリップするまで、発振器の電圧を増加させてみる。この状態で、同様に図6の各点の波形をUSBメモリに保存すること。
- (4) 発振器の電圧を(2)の状態に戻してクリップしないようにする。 C_E を挿入して、波形がどうなるか確認すること。

以上のように観測した結果から、トランジスタの増幅動作について理解すること。

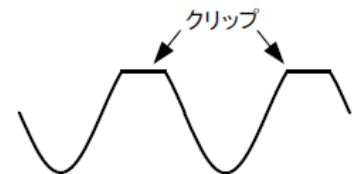


図8 クリップ波形

6. 増幅回路の特性測定

自分で製作した回路の周波数特性と入出力特性を測定する。図9のように発振器とオシロスコープを接続すること。

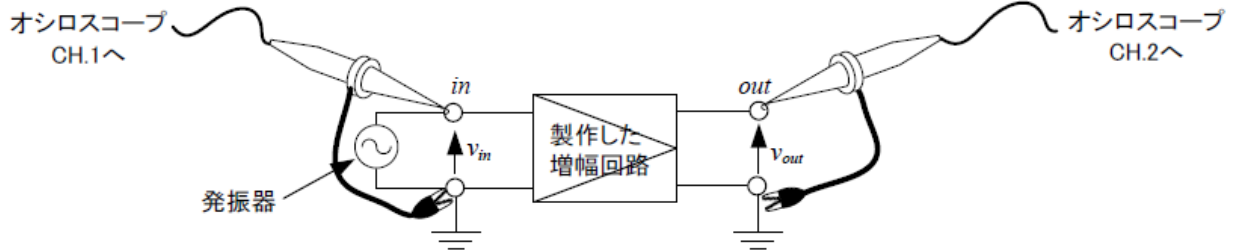


図9 測定回路

6-1 周波数特性の測定

- (1) 出力波形が飽和しないように入力電圧を設定する(発振器の出力すなわちCH.1表示値で100 mV_{pp}程度)。
- (2) 最初に発振器の周波数を100 [Hz]とし, 1, 2, 4, 7ステップで周波数を増加させながら, オシロスコープで入力電圧と出力電圧を測定し, 電圧利得(単位dB)を求める。
測定はオシロスコープのMEASURE機能を利用するとよい。周波数はオシロスコープのMEASURE機能の値を見ながら調整すること。発振器の出力周波数は高域遮断周波数の上(利得が低下する領域)まで測定すること。
- (3) 図10のように横軸に周波数(対数軸), 縦軸に電圧利得をとり, 片対数グラフに図示すること。
- (4) 図10における平坦部の利得から3 [dB] 落ちる周波数(遮断周波数)を低域, 高域ともにグラフより求めること。
- (5) 低域と高域の遮断周波数の範囲が増幅回路として利用できる周波数範囲である。

6-2 入出力特性の測定

- (1) 発信器の周波数は, 6-1の測定結果の平坦な周波数の範囲に設定する。10~100 [kHz] の範囲が適切である。
- (2) 発振器の出力電圧を変えて, オシロスコープで入力電圧と出力電圧を測定する。
入力電圧(発振器の出力電圧)は, 発振器の設定値でなくオシロスコープの測定値とすること。
図11のように特性が飽和してくるので, 測定点が10点前後になるように出力電圧を変える間隔を設定すること。
- (3) 横軸に入力電圧, 縦軸に出力電圧をとり, グラフとして図示すること。
- (4) 飽和するまでの入力電圧が増幅回路の入力電圧制限の様子を表す。

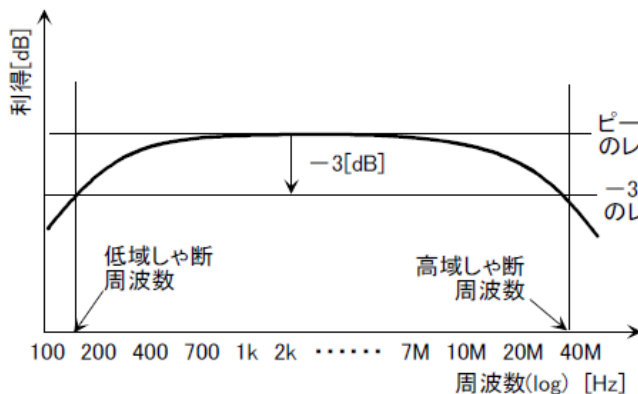


図10 増幅回路の周波数特性

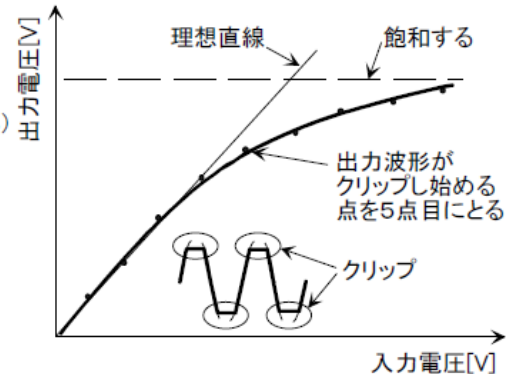


図11 増幅回路の入出力特性

6-3 動作点における直流バイアスの測定

- (1) テスターを使って V_{CE} , V_{BE} , I_B , I_C を測定すること。また, これらの測定値を設計値と比較すること。
- (2) (1)の電流の測定は, 抵抗の両端の電圧を測定し, オームの法則より求めれば良い。(I_B は間接的に。)

7. 検討課題(4×5点=20点)

- (1) トランジスタ, FET, OPアンプで増幅回路を製作したときの特徴や長所・短所について比較して説明しなさい。
- (2) 電力増幅回路について調べ, 今回製作した電圧増幅回路と比較して説明しなさい。
- (3) 図6の回路において, C_E はどのような役割を果たすか等価回路を用いて説明すること。
- (4) 増幅回路と発振回路を比較し, 同じ点と異なる点をそれぞれ説明しなさい。

8. 考察のポイント(20点)

自分で設計・製作した回路について, 以下の点に関して考察すること。

- (1) 仕様に対し, 測定結果はどの程度一致しているのか考察する。違いがある場合はその原因について検討する。
- (2) 測定値と(等価回路の)計算値を比較し, 違いがある場合はその原因について検討する。
- (3) 周波数特性と入出力特性の結果から増幅回路の性能を評価する。