

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。

実験は1週目に静特性の測定を行い、動作点を設定する。2週目までに各自で回路の設計を行い、2週目の実験では設計値に従って回路の製作を行う。製作した増幅回路の特性を最後に測定する。

【実験の流れ】

- (1) 1週目・・・カーブトレーサによる静特性の測定
増幅回路の波形解析
- (2) 1→2週目・・・静特性のグラフ作成
与えられた使用を満たすように増幅回路の設計
- (3) 2週目・・・設計した増幅回路の製作と周波数特性と入出力特性の測定
- (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} の振幅が増幅（または等倍）され、波形は歪まない。入力と出力では位相はずれても構わない。

トランジスタで増幅回路を製作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。

今回の回路設計とはトランジスタが所望の動作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。実際には一人1個のトランジスタ増幅回路を設計・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。また、2SC1815は直流電流増幅率 h_{FE} によって、Y(Yellow, $h_{FE}=120\sim 240$)、GR(Green, $h_{FE}=200\sim 400$)、BL(Blue, $h_{FE}=350\sim 700$)と種類が異なるので各自で確認すること。詳しいデータを知りたいものは各種規格表、データシートブックおよびホームページ (<http://www.semicon.toshiba.co.jp/>) を利用して調べること。

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。

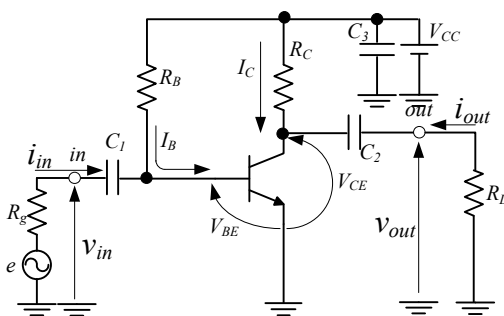
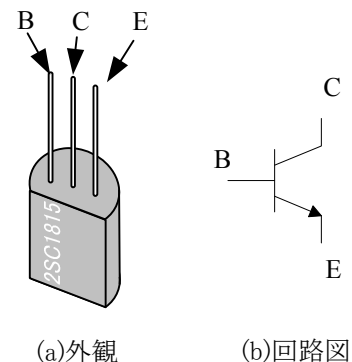


図1 エミッタ接地増幅回路



(a)外観 (b)回路図

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静特性(直流特性)の測定を行う必要がある。

本実験ではカーブトレーサを利用した簡易測定を行う。カーブトレーサの使用方法は別途マニュアルを参考にすること。また、測定結果よりは各自データとして保存し、グラフにすること。また、グラフより h パラメータを求めること。 h パラメータは h_{ie} と h_{fe} だけ算出すればよい。グラフの作成及び h パラメータの測定は別途マニュアルを参考にすること。

カーブトレーサの動作が不調な場合は図3の回路により手動計測を行うこと。

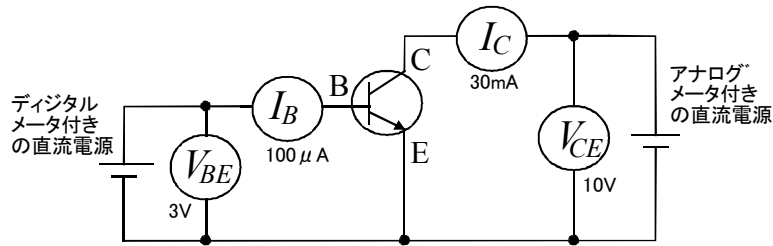


図3

測定結果より静特性は図4の $V_{CE}-I_C$ 特性と図5の $V_{BE}-I_B$ 特性の2つが得られる。これから動作点を決めること。

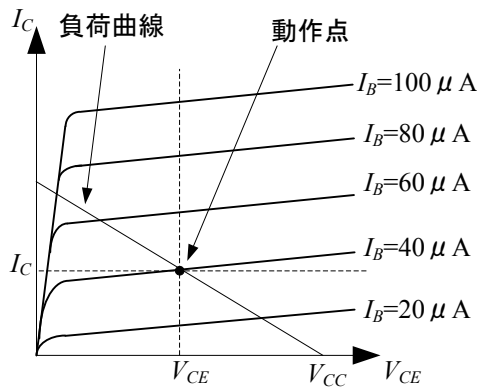


図4 $V_{CE}-I_C$ 特性

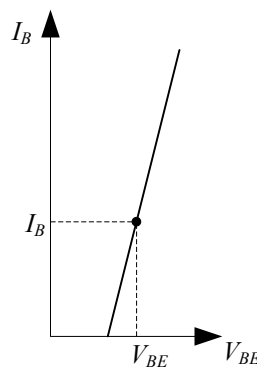


図5 $V_{BE}-I_B$ 特性

動作点の決め方

- $V_{CE}=6\text{ V}$ とする。
- I_B は20、40、60、80、100 $\mu\text{ A}$ のどの点でもよいが、決めかねる場合は40 $\mu\text{ A}$ 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)電子回路の教科書pp.80-81参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+と一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て、グラフ用紙に写すこと。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。

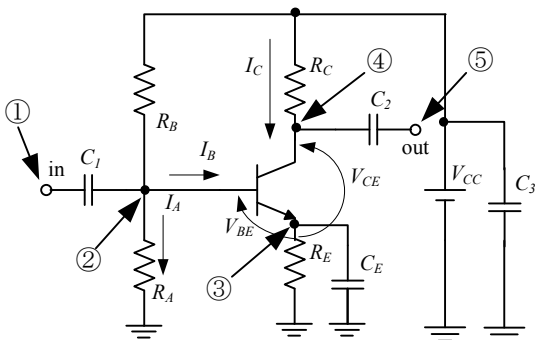


図6 波形観測点

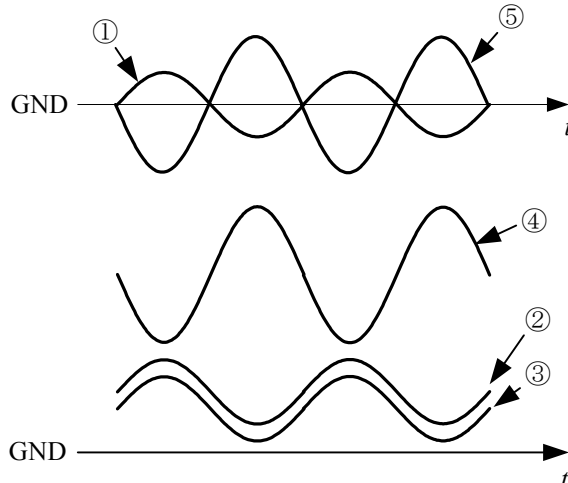


図7 各観測点の波形の概要

- (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ること。この状態で、同様に図6の各点の波形をグラフ用紙に写すこと。
- (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。

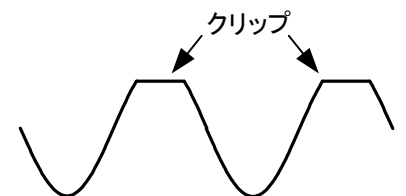


図8 クリップ波形

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。

5. 増幅回路の設計

いよいよ回路を設計する。設計の前に自分の回路の仕様をまとめること。

接地方式 : () 接地
利 得 : () dB
低域遮断周波数 : () Hz
バイアス条件 : $V_{CE} = ()$ V
 $I_B = ()$ μ A
 $I_C = ()$ mA

各接地方式共通の条件および式(図6の回路で)

$$\text{利得の近似式: } A_v = 20 \log_{10} \frac{R_C}{R_E} \text{ [dB]}$$

電源電圧 : $V_{CC} = 12$ V

バイアス条件 : $V_{BE} = 0.6$ V

$$I_A = 10I_B \text{ or } I_A \geq 10I_B$$

- 図6の回路において C_2 と C_3 は適当な値のものを用意するので設計する必要はない。
($C_2 = 0.033 \mu\text{F}$ 、 $C_3 = 10 \mu\text{F}$ と 1000 pF の並列接続)
- 最大振幅がとれるように $V_{CE} = 6$ Vとすること。
- C_1 と各抵抗の値を設計すること。

回路設計欄

【回路製作上の留意点】

- 回路製作では不要なジャンパ線は用いず、コンパクトに回路を組むこと。
- 回路が完成したら、まず直流電源を供給する+と-端子をテスターで導通チェックをすること。
- 次に予定通りの結果になっているか波形を確認すること。

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。

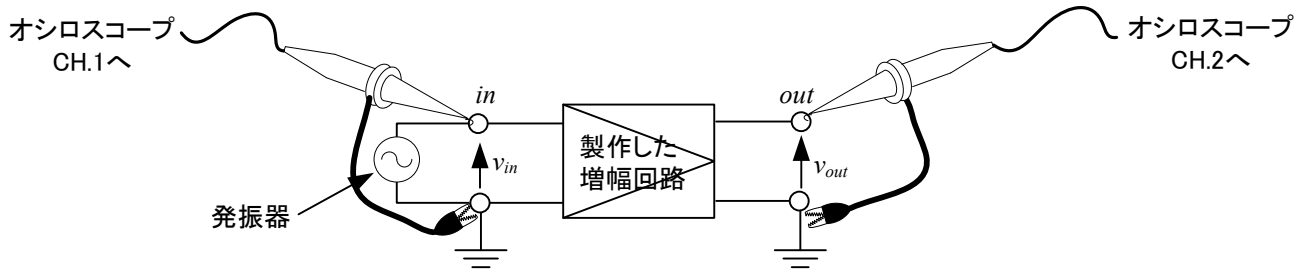


図9 測定回路

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（発振器の表示値で100 mVpp程度）。
- (2)最初は発振器の周波数を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（単位は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。周波数の値は測定せずに、発振器の指示値をそのまま利用すること。発振器の出力周波数の上限まで測定すること。
- (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)周波数特性の測定結果より、発振器の周波数を平坦な周波数の範囲に設定する。10~100[kHz]の範囲が望ましい。
- (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。
発振器の電圧表示とオシロスコープの電圧表示が異なる場合がある。電圧はオシロスコープの測定値を測定すること。
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入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、方眼紙に図示すること。
- (4)飽和するまでの入力電圧が増幅回路の入力制限を表す。

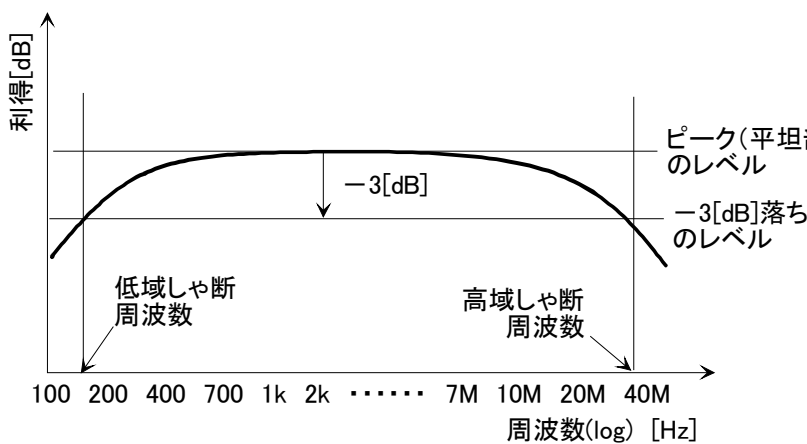


図10 増幅回路の周波数特性

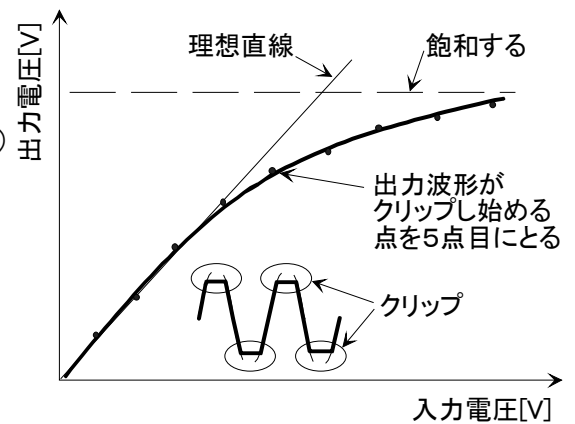


図11 増幅回路の周波数特性

7. 検討課題

- (1)自分で設計した回路の等価回路を描き、利得、入力インピーダンス、出力インピーダンスの式を求めること。
- (2)(1)で求めた式と h パラメータの値より利得、入力インピーダンス、出力インピーダンスの計算値を求めること。
- (3)図6の回路において、 C_E により回路はどのような動作をするか答えよ。(1)での結果を参考にすること。
- (4)波形の観測結果より、トランジスタの増幅動作について説明すること。

8. 考察のポイント

自分で設計、製作した回路について以下の点について考察すること。

- (1)仕様に対してどれくらい満たしているのか考察すること。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こと。
- (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こと。