

# 電子工学実習テキスト ( 実習 K ~ M )

Ver.1.02

## 内 容

実習 K:ダイオード.....	1
1. 目的.....	1
2. ダイオード.....	1
3. 実験.....	3
3.1 説明.....	3
3.2 実験.....	3
3.3 データ整理.....	5
3.4 検討課題.....	5
3.5 捕捉.....	6
実習 L:トランジスタ静特性.....	10
1. 目的.....	10
2. トランジスタ.....	10
3. 実験.....	11
3.1 説明.....	11
3.2 実験.....	12
3.3 データ整理.....	13
3.4 検討課題.....	13
実習 M:トランジスタ増幅器.....	16
1. 目的.....	16
2. バイポーラトランジスタ.....	16
3. 実験.....	17
3.1 説明.....	17
3.2 実験.....	18
3.3 データ整理.....	21
3.4 検討課題.....	21

## 実習 K: ダイオード

### 1. 目的

pn 接合半導体整流器の電圧電流特性を測定し、半導体の物理的性質および整流器としての整流作用を理解する。

### 2. ダイオード

ダイオードとは二つの電極(アノード(A)とカソード(K))を持った半導体の総称で、最も基本的な非線形素子である。図 K1に今回使用するダイオード(1S2076A)外観、記号を示す。

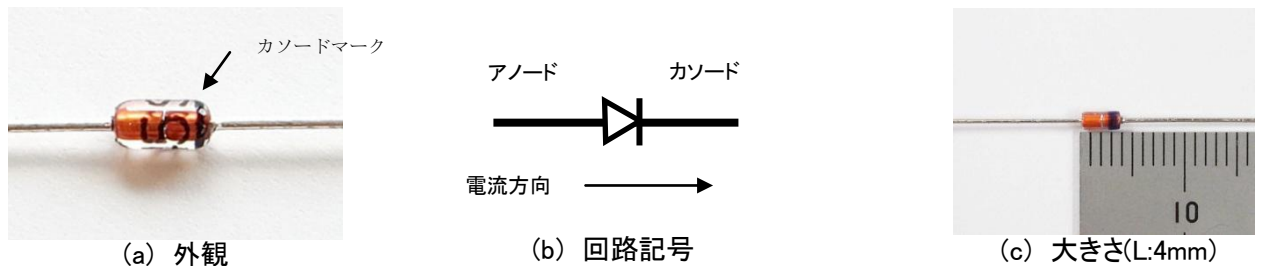


図 K1 ダイオード

ダイオードはアノード側の電位が高い時に電流が流れ、カソード側の電位より低い時には電流は流れない。

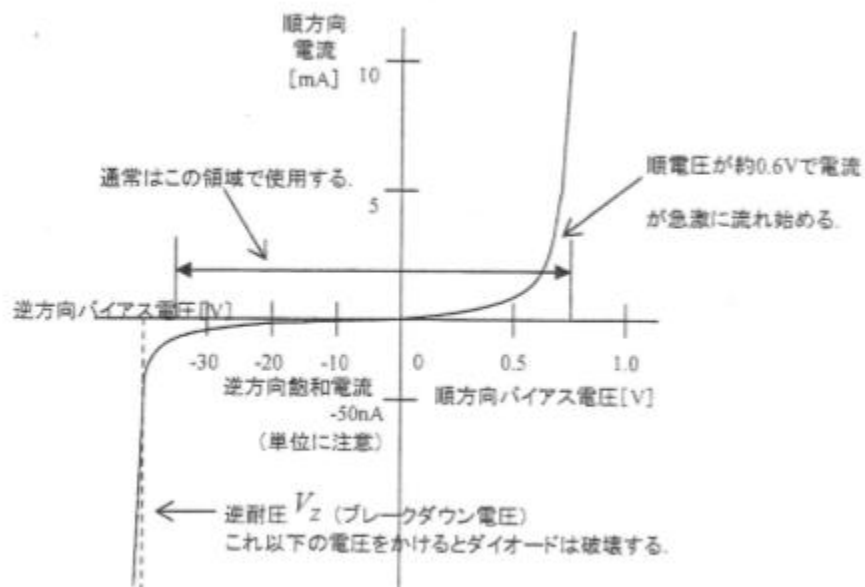


図 K2 ダイオードの電圧電流特性

(横軸、縦軸ともに正・負で値が異なる点に注意)

図 K2はpn接合ダイオードの電圧電流特性の例である。このような特性を持っており、スイッチや

整流器としての動作を担うことが多い。

順バイアス時(アノードが正となる電圧方向)の電圧電流特性は、次式で表される。

$$i_D = I_S \left\{ \exp\left(\frac{qV_D}{kT}\right) - 1 \right\} \quad (K1)$$

ここで、 $I_S$ : 逆方向飽和電流、添え字  $D$ : ダイオード(各々電圧、電流)、 $T$ : 雰囲気温度、 $k$ : ボルツマン定数、 $q$ : 電子の電荷量、である。また、電流が立ち上がる部分の接線と横軸との交点を「立ち上がり電圧」と呼び、おおよそ 0.5~0.7V の値である。

次に、ダイオードの整流特性について考える。

今、図 K3(a)に示す様に、内部抵抗  $r$ 、起電力  $E_0$  の電源に、ダイオードと負荷抵抗  $R$  が直列に接続されているとする。

この回路に流れる電流は、

$$I_D = (E_0 - V_D)/(r + R)$$

となり、図 K3(b)に示す斜めの直線で表される。

図 K3(c)は電源電圧  $E_0$  が三角波状に変化した場合の  $E_0$  と整流電流  $I_D$  との関係を示したもので、作図により特性の概略を知る場合に用いられる。

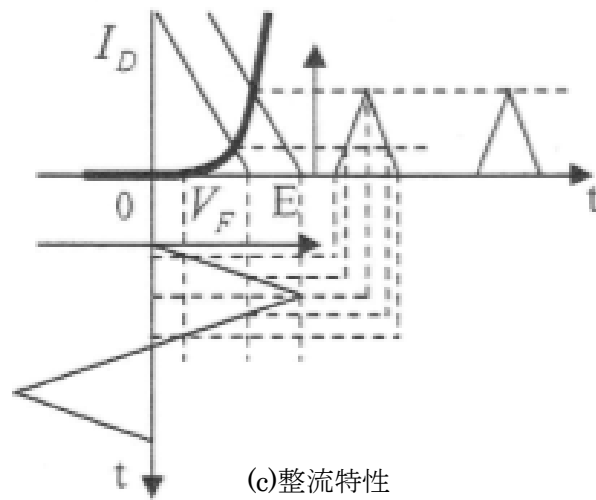
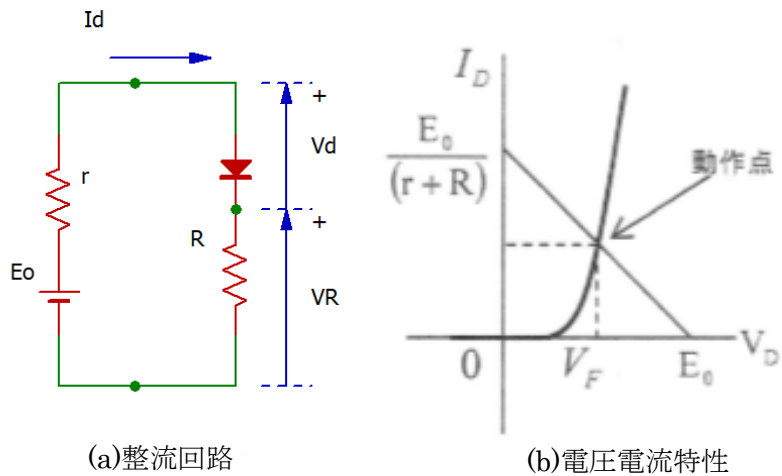


図 K3 整流動特性の説明図

負荷抵抗  $R$  の両端に発生する電圧は  $R \cdot I_D$  で与えられる。

### 3. 実験

#### 3.1 説明

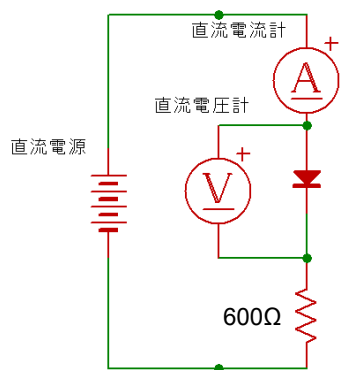
実験ではまず初めにダイオードの整流静特性を測定する。基本回路は図 K3(a)に示すとおりであり、得られる結果は図 K2の様に、順方向と逆方向の電圧・電流特性である。

この静特性が得られたのち、交流信号として三角波を入力し、その波形が整流されるとどのような波形になるのかを測定する。続いて、既に得ている静特性を用いて、簡単な動作解析を行う。

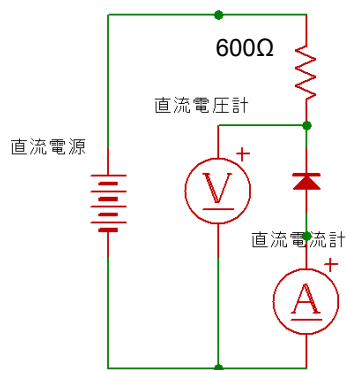
#### 3.2 実験

##### A. 順方向静特性の測定

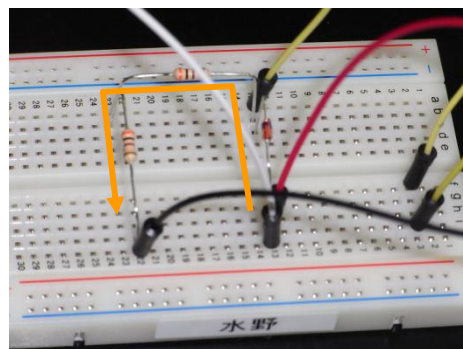
一般に直流での電圧・電流の変化の状態を静特性という。図 K4のように測定器と試料を接続する。なお、実験 K では、 $600\Omega$ は  $300\Omega$ を2本直列に接続して実現する。



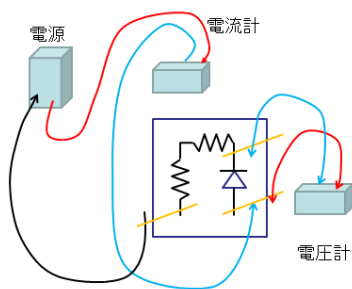
(a) 順方向特性測定



(b) 逆方向特性測定

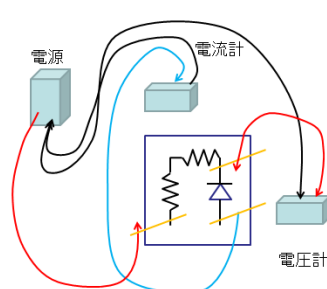


(c) ブレッドボード上のレイアウト例



橙色はBBからの取り出しリード線

(d) 順方向接続図



橙色はBBからの取り出しリード線

(e) 逆方向接続図



(f) 実際のイメージ図

図 K4 ダイオード静特性の測定回路

電源の電圧調整のつまみを左いっぱいに戻して電圧を0Vにしておく。

- (1) 最初の直流電流計のレンジを  $10\text{mA}$  にして接続し、直流電源の電圧調整つまみを徐々に右回りに回す。直流電流計の指針で  $1\text{mA}$  ごとに直流電圧計での電圧の読みを記録する。できれば  $0 \sim 1\text{mA}$  の間も  $0.2\text{mA}$  ごとに測定する。

- (2) 直流電流計の指針が 10mA になったら、直流電源の電圧をいったん 0V に戻して、直流電流計のレンジを 30mA に変えて接続し直し、直流電流計の指針で 10mA ごとに直流電圧計で電圧の読みを記録する。これを 30mA まで行う。レンジの切り替えでは必ず電源を 0V にする。
- (3) 測定が終了したら、直流電源の電圧を 0V に戻して結線を外す。

#### B. 逆方向静特性の測定

電源の電圧調整のつまみを左いっぱいに戻して電圧を 0V にしておく。

- (1) 最初の直流電流計のレンジを 10mA にして接続し、直流電源の電圧調整つまみを徐々に右回りに回す。電圧計の指針が 10V を示すまで測定し、結果を記録する。1S2076A の逆方向抵抗は約 10kΩ で若干電流が流れる。
- (2) 測定が終了したら、直流電源の電圧を 0V に戻して結線を外す。

#### C. 整流動特性の測定

交流信号を入力し、時間的に変動する電圧・電流に対する変化を記録する。

##### (1) 信号発生器の初期設定

- ① 信号発生器の電源を ON にする。出力端子と試料とは切り離しておく。
- ② 周波数ダイヤルを「1」に合わせ、MULTIPLIER を「1k」とする。したがって周波数は  $f = 1 \text{ k Hz}$  となる。
- ③ FINE のつまみを時計回りに一杯にし、CALIB[Calibration/led](校正)状態にしておく。
- ④ OFFSET のつまみを押し込まれていることを確認し、DC オフセットを 0V にする。
- ⑤ モード設定ボタンの CONT ボタンが押し込まれ連続モードである事を確認する。
- ⑥ 信号出力レベルを最少にするため AMPLITUDE つまみを反時計回り一杯に戻し、ATTEN は 0dB にしておく。
- ⑦ 波形は三角波にするため、WAVEFORM ボタンから「三角波」を選択する。
- ⑧ 出力端子は「600 Ω」とし、ターミナルから信号を取り出す。

##### (2) オシロスコープの初期設定

- ① オシロスコープの電源を ON にする。入力端子(プローブ)と試料とは切り離しておく。
- ② プローブを CH1 の INPUT に接続し、プローブ横のオレンジのつまみがある場合は倍率が X1 になって居る事を確認する(X10:[1/10]ではない)。
- ③ CH1 の電圧レンジを 1 Volt/div に設定する。
- ④ 入力モード SW を GND にし、水平レベルを縦軸中央に合わせる。
- ⑤ 横軸の時間は 0.2msec/div に設定する。
- ⑥ CH1 の入力を DC に設定する(AC で測定しない)

##### (3) 入力信号の設定

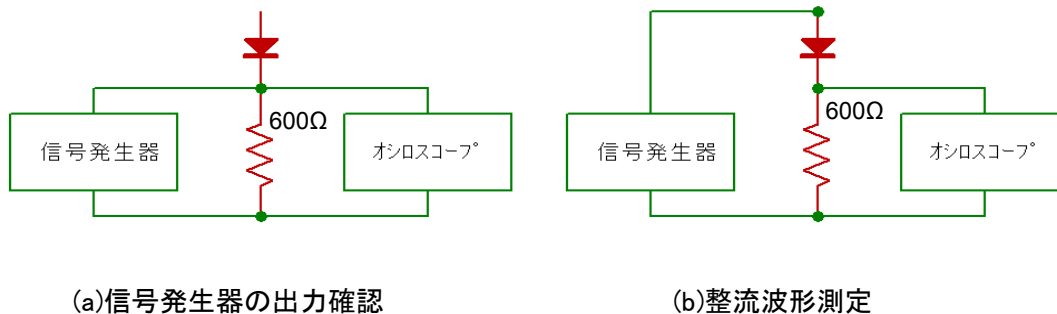
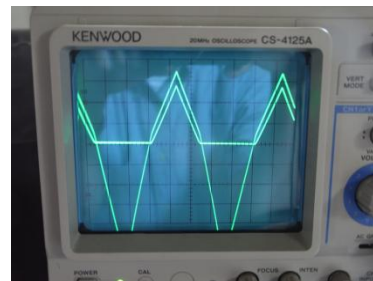


図 K5 整流動特性測定回路

- ① 信号発生器の 600Ω 出力端のリード線を図 K5(a) の様に抵抗両端に接続し、さらに同じ点をオシロスコープで測定する。図の下側がアースなので、接続を間違えない様に。
- ② 抵抗を流れる電流が大凡 5mA となる様に設定し、観測しやすい様にオシロスコープの電圧を設定する。[600Ω の抵抗に 5mA 流れるとき、発生する電圧は幾らか。あらかじめ想定しておく]
- ③ オシロスコープに現れた電圧波形を正確にグラフ用紙(方眼紙)にスケッチする。
- ④ この電圧波形は信号発生器の真の電源電圧( $E_0$ )が内部抵抗( $r$ )と負荷抵抗( $R$ )とによって分圧されたものであるから、電源電圧( $E_0$ )を計算して、同じグラフの上書き加える。

#### (4) 出力波形の記録

- ① 次に測定回路を図 K5(b) の様に変更する。信号を試料全体に加える。
- ② (3)③と同様、正確にスケッチする。
- ③ この際、信号発生器には手を触れず、出力に変動が無い様に細心の注意を払うこと。



(c)OSC 上の波形(内側)  
図 K5 整流動特性測定回路

### 3.3 データ整理

- (1)実験3. 2A の順方向静特性について、電圧電流特性を、横軸は電圧、縦軸は電流とし、縦軸はリニア方眼紙、片対数方眼紙の2種類を作成する。
- (2)実験3. 2C の整流動特性について、得られた3つの波形(信号発生器出力(実験データ)、信号発生器電源電圧(計算値)、整流後波形(実験))を同じグラフの上書き。各三角波の頂点時間位置を合わせる

### 3.4 検討課題

- (1)順方向静特性のグラフから、各電流値でのダイオードの抵抗値について算出し、電流値に対する抵抗値のグラフを作成せよ。
- (2)実験3. 3(2)で得られた整流動特性を計算と作図によって求めよ。図 K3(c)の作図法による。

(3)実験3. 3(1)で得られた順方向特性と理論式(K1)を比較し、理論式に使われる各値がどのような値であるか、またそれrの意味するものを考察せよ。

### 3.5 捕捉

(K1)式にダイオードの順方向電流の式を示したが、ダイオードの電圧(Vd)・電流(Id)以外の値は以下の意味を持つ(再掲)。

q: 単電荷の電荷量 ( $1.6022 \times 10^{-19}$  (C))

k: ボルツマン定数 ( $1.3807 \times 10^{-23}$  (J/K))

T: 雰囲気温度 (接合面温度で通常 290-400K 程度)

Is: 逆方向飽和電流 (数ピコから数十ナノ A の範囲)

## レポート報告 (例 K)

- ・ 課題名：ダイオードの静特性・動特性
- ・ 目的：省略
- ・ 実験内容：
- ・ 3.2 A：順方向静特性
- ・ 実験回路：テキスト図 K4(a)を示す。
- ・ 実験結果：

表 KA1 ダイオード順方向電流電圧

<順方向> I(mA)	V(V)
0	0
0.2	0.5
0.4	0.55
0.6	0.55
0.8	0.57
1	0.59
2	0.62
3	0.63
4	0.65
5	0.66
6	0.67
7	0.69
8	0.7
9	0.7
10	0.7
20	0.75
30	0.78

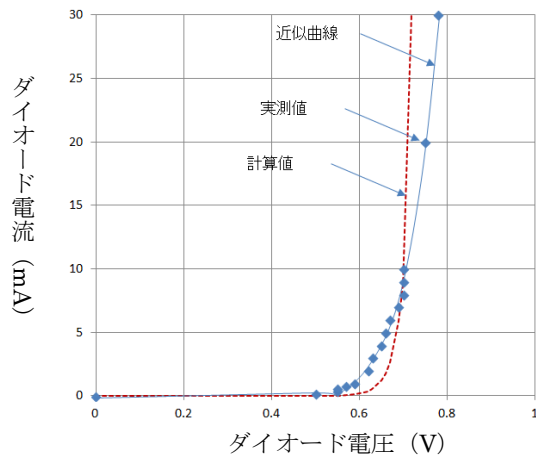


図 KA1 ダイオード順方向電流電圧特性  
(Excel 使用可)

図 KA1 の計算値はテキスト(K1)式を使用 (  $T=290K, I_s=6pA \Leftrightarrow$  各自検討せよ )。

- ・ 3.2 B：逆方向静特性
- ・ 実験回路：テキスト図 K4(b)を示す。

表 2：省略

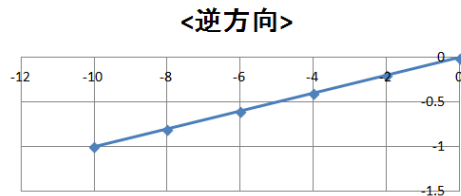


図 KA2 ダイオード逆方向電流電圧特性

本ページの図 KA1、図 KA2 はテキスト図 K2 の様に、一枚にまとめて書く。表 1/2 も同様。

- ・ 3.2 C：整流動特性
- ・ 実験回路：テキスト図 K5(b)を示す。
- ・ C 項(3)③④ オシロスコープ出力波形と計算で求めた  $E_o$  波形(図 KA3)。

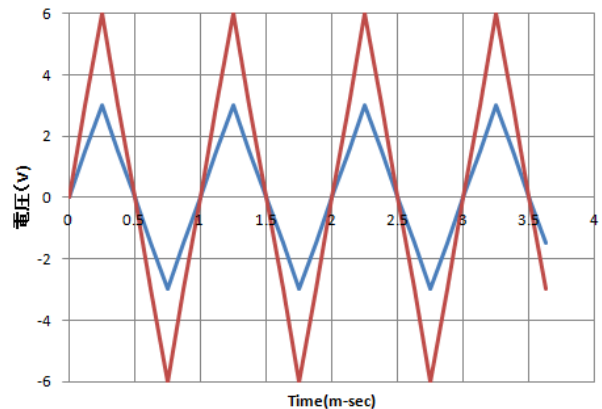


図 KA3 入力波形 (青) と  $E_o$  波形 (赤)



・ C 項(4)② 負荷抵抗に発生した整流波形

図 KA 4 に観測例を示す。整流波形は入力波形の「内側」に入っている点に注意する(こうならないかも知れないが)。

図 KA 4 では横軸・縦軸の記述を省略している。  
(縦軸: Volt, 横軸: 時間 m-sec)

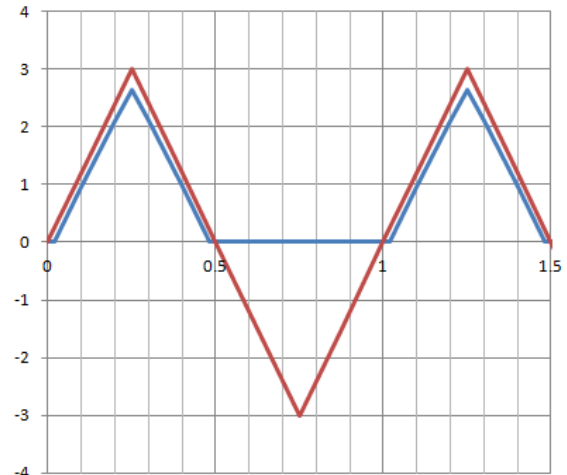


図 KA 4 入力波形 (赤) と出力波形 (青)

・ 3.3 データ整理

(1) 順方向特性

本資料の図 KA 1 をリニア方眼紙と片対数方眼紙の 2 種類に書く(図 KA 1 はリニア方眼紙)。

(2) 整流動特性

図 KA3/4 を、波形の頂点位置 (0.25msec/0.75msec) を同一時刻にして同じグラフ (方眼紙) に書く。

・ 3.4 検討課題

(1) 表 KA 1 において、各電流値での電圧値を電流値で割れば、その点での抵抗値が得られる。この様にして得られた抵抗値を横軸を電流値とした片対数グラフで示せ (図 KA5 参照)。

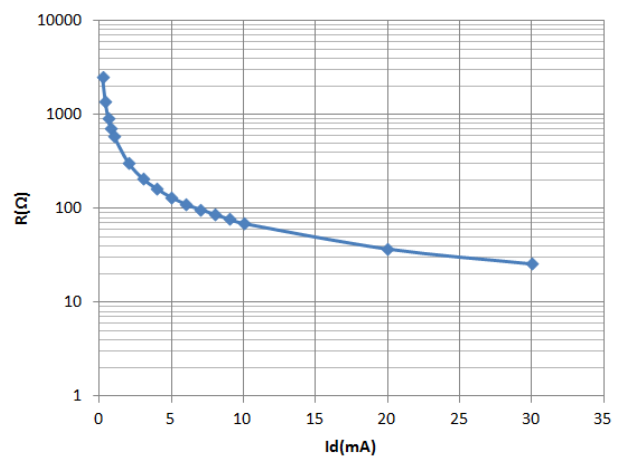
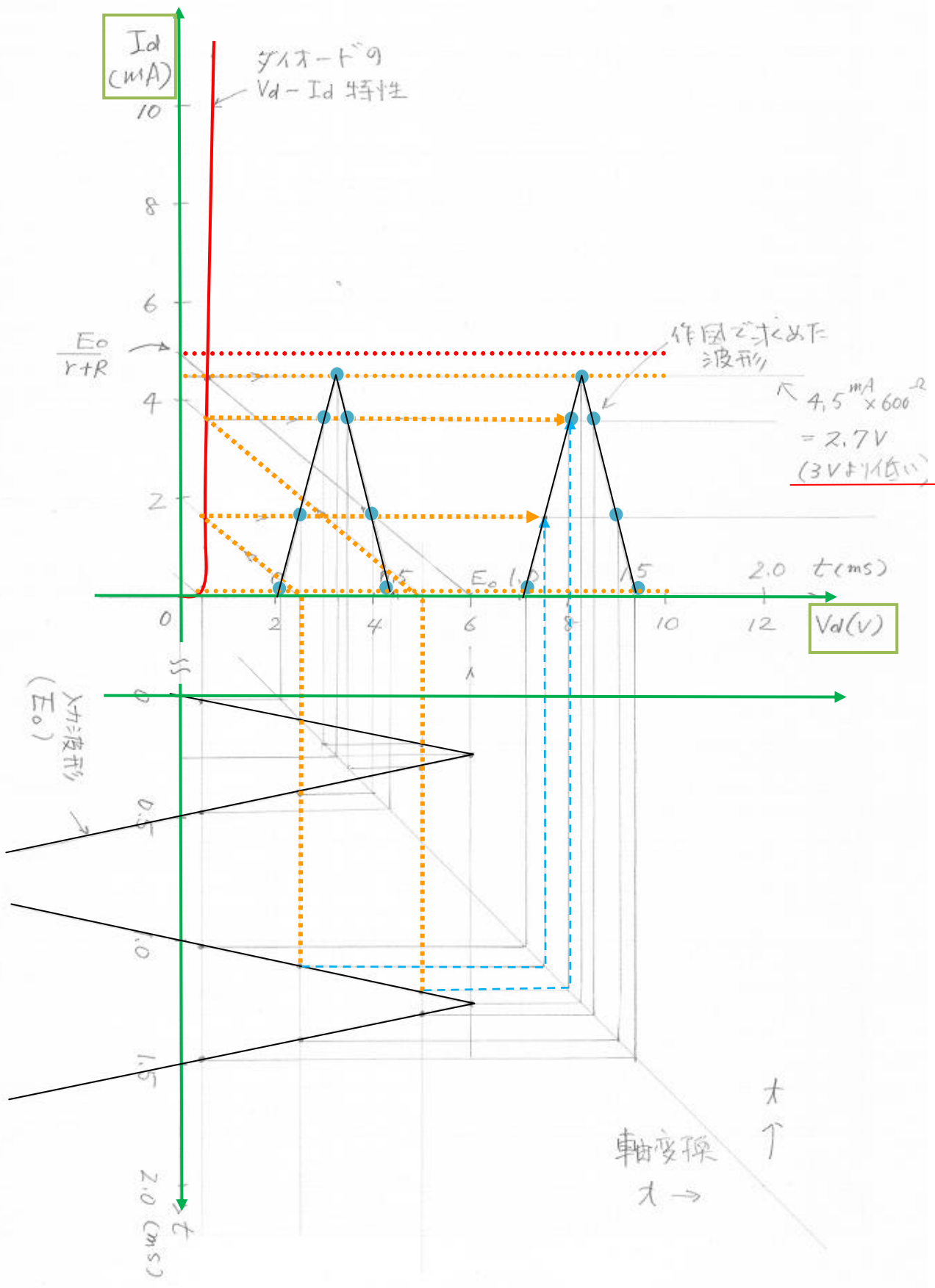


図 KA5 電流値と抵抗値

(2) 図 K3(c)作図法による解析

次ページ参照。

(3) 図 KA1 に示した理論式から得られるデータを出来るだけ実測値に合う様、試行錯誤して求める。その結果、得られた値がどの様なものであるかを考察する。



## 実習 L:トランジスタ静特性

### 1. 目的

トランジスタを使用するうえで基本形態となる、エミッタ接地形の静特性(DC 特性)を測定し、トランジスタの基本特性を理解する。

### 2. トランジスタ

トランジスタは1948年にアメリカのベル電話研究所で W.ショックレーら3人の物理学者により発明され、1956年にノーベル物理学賞を受賞している。現在は一つの半導体上に数万個のトランジスタが集積されたVLSIが広く普及し、社会生活を支えているが、その動作原理はトランジスタの増幅、スイッチング、論理回路、などが基本となっている。

#### (1)トランジスタの基本動作

トランジスタは構造の違いから pnp 形(素子番号の先頭が 2 SA または 2 SB で始まる)と、npn 形(同じく 2 SC または 2 SD で始まる)ものの2種類がある。それぞれ回路記号では図 L1の様に表される。

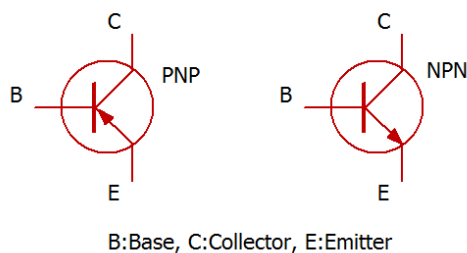


図 L1 トランジスタの回路記号

トランジスタを動作させるにはベース・エミッタ間を順方向にバイアスし、コレクタ・ベース間を逆方向にバイアスする。

エミッタ接地形の npn 形トランジスタを例に、トランジスタ増幅器の基本動作を見て行く(図 L2)。

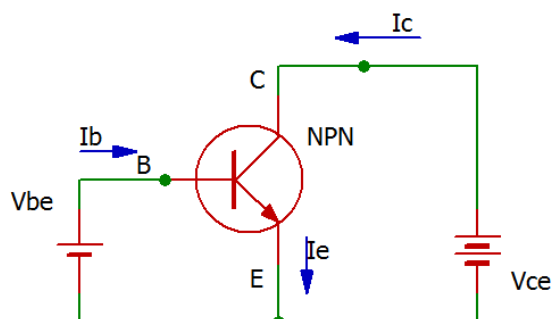


図 L2 トランジスタの直流基本動作

図 L2 に示す様に、バイアスを加えると三つの電極にそれぞれ電流が流れる。図から明らかとなり、ベース電流 ( $I_b$ ) とコレクタ電流 ( $I_c$ ) がトランジスタに流れ込み、その和がエミッタ電流 ( $I_e$ ) となる。また、トランジスタはベース電流が増幅されコレクタ電流となるが、この増幅率は直流電流増幅率と呼ばれ、 $\beta (=I_c/I_b)$  と表記される。なお、交流に対する増幅率は  $h_{fe} (h_{fe} = dI_c/dI_b)$  と表記される。

以上の関係を数式で表すと以下の様になる。

$$I_e = I_b + I_c \quad (L1)$$

$$I_c = \beta \times I_b \quad (L2)$$

### (2) トランジスタの形状

トランジスタのほとんどは米国の JEDEC で定めた TO 形 (transistor out-line) と呼ばれる規格に基づいた形状となっている。良く目にする小型のトランジスタ (最大コレクタ損失  $P_c=1W$  以下) は TO-92 型の黒いプラスチック・パッケージに収められている。

### (3) トランジスタの規格

#### ・最大定格

トランジスタにそれ以上の電流量を加えると破壊する、と言う値が最大定格である。今回、実験で使用する 2SC1815 のカタログから最大定格を例示した (表 L1)。

最大定格 ( $T_a = 25^\circ C$ ) 表 L1 2SC1815 最大定格

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	$V_{EBO}$	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
接合温度	$T_j$	125	$^\circ C$
保存温度	$T_{stg}$	-55~125	$^\circ C$

## 3. 実験

### 3.1 説明

2SC1815 を使用してトランジスタの静特性を測定する。トランジスタの形状、各電極 (リード線) は図 L3 に示すとおりである。

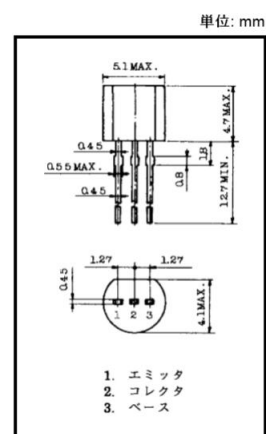


図 L3 形状 (電極は下から見た図)

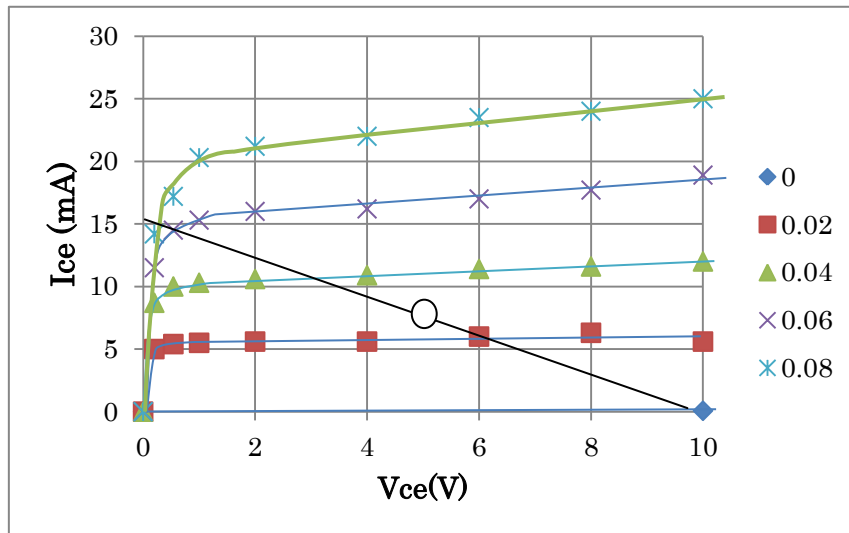


図 L4 トランジスタの静特性(例)

図 L4はトランジスタの静特性の例であり、今回はこの図に示す静特性を測定する。凡例の所はベース電流を示し、この実験では  $I_b$  を  $0\mu\text{A} \sim 80\mu\text{A}$  まで  $20\mu\text{A}$  づつ変化させ、電圧電流特性を測定している。図の中央に丸印と、これを通る直線が示されているが、この直線は負荷直線と呼ばれるもので、この直線上に入力信号が現れる(詳細は講義で)。したがって、線形性の良い増幅器を設計する場合、左上から右下まで、できるだけベース電流が等間隔になる中央の位置を動作点にする。図中の丸印が動作点に相当する。

なお、静特性測定時に使用する抵抗は  $1/4\text{W}$  の抵抗であり、 $1\text{k}\Omega$  では  $15.8\text{mA}$  が流れると定格値となる。したがって、 $I_{ce}$  は  $15\text{mA}$  を上限とするよう注意する。

### 3.2 実験

図 L5に示す回路を用いて、2SC1815 の静特性を測定する。図の両側にある電源を操作し、左の電源ではベース電流 ( $I_b$ ) を、右の電源ではコレクタ・エミッタ電圧 ( $V_{ce}$ ) を変える。

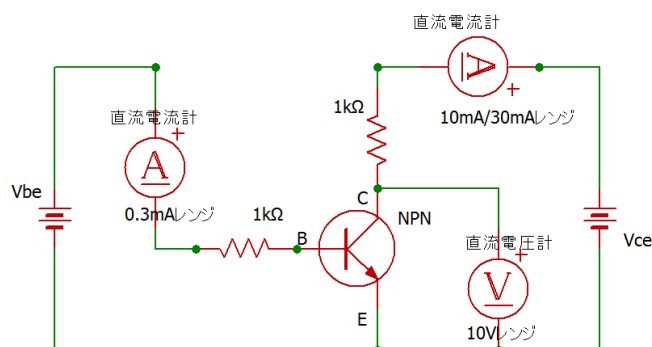


図 L5 エミッタ接地トランジスタの静特性測定回路

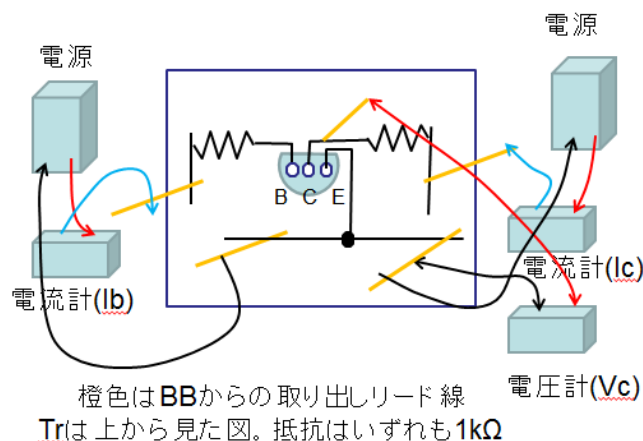


図 L5(補) エミッタ接地トランジスタの静特性測定回路

始めに、電源の電圧調整のつまみを左一杯に回して電圧を0Vにし、電源を入れる。

(1) ベース電流 ( $I_b$ ) を 0mA にした時の電圧電流特性を測定する。このため、図 L5のベース側の電流計の接続を外しておく。この状態でコレクタ・エミッタ電圧 ( $V_{ce}$ ) を 0~10V 変化させ、コレクタ電流 ( $I_c$ ) を測定する。

(2) 次にベース電流 ( $I_b$ ) を 0.01mA ( 10 $\mu$ A ) にし、同様に、コレクタ・エミッタ電圧 ( $V_{ce}$ ) を 0~10V 変化させ、コレクタ電流 ( $I_c$ ) を測定する。この際、一度  $I_b$  を設定しても  $V_{ce}$  を変えると  $I_b$  の値が変化する。このように  $I_b$  と  $V_{ce}$  の調整はお互いに影響するので、両方の値が測定の目的に叶う様、その都度調整・設定して実験を続ける。

$V_{ce}$  の設定は非常に難しいので、電圧値は 0/0.2/0.5/1.0/2.0V とし、以降 1.0V ずつ測定する。

(3) 以下、パラメータ  $I_b$  の値を 0.01mA~0.04mA まで 0.01mA 刻みで設定し、図 L4に示したような電圧電流特性を測定する。特に  $V_{ce}$  が 0-1V の範囲では電流の変化が急峻なので、精度良く測定すること。

### 3.3 データ整理

(1) 電圧電流特性を、図L4の様に整理する。なお、コレクタ・エミッタ電圧は 0~10V、ベース電流は 0.0mA~0.04mA までの5通りである。

(2) 得られた図から動作点を決め、その点での  $h_{fe}$  を計算で求めること。

### 3.4 検討課題

(1) 直流増幅率  $\beta$  は  $I_c/I_b$  で与えられる。今、 $V_{ce}$  を 6.0V とした場合、コレクタ電流 ( $I_c$ ) の変化とともに  $\beta$  が変化する。この関係を横軸が  $I_c$ 、縦軸が  $\beta$  のグラフを作成し、その結果を考察せよ。

(2) 3. 3項の (2) で動作点を決めた。この点でのコレクタ損失を求め、表 L1 の最大定格に対し、どの程度の余裕があるか検討せよ。また、コレクタ損失の意味を各自調べること(計算方法: コレクタ損失 =  $I_c \times V_{ce}$ )。

レポート報告 ( 例 L )

- ・ 課題名：トランジスタの静特性
- ・ 目的： 省略
- ・ 実験内容：
- ・ 3.1 トランジスタ 2SC1815

2SC1815 について、カタログからその主な用途、代表的特性 ( 表 L1 参照 ) を示し、どのようなトランジスタを使って実験したかを示す。

・ 3.3 データ整理

- ・ 回路図

実験した回路図 ( 図 L5 ) を示す。また、2SC1815 について、カタログから、その主な用途、代表的特性 ( 表 L1 参照 ) を示し、どのようなトランジスタを使って実験したかを示す。

- ・ (1) 電圧電流特性

続いて、得られた静特性の表 ( ここでは省略 ) と図 ( 図 LA1 ) を示す。さらに、動作点での  $h_{fe}$  を算出する。

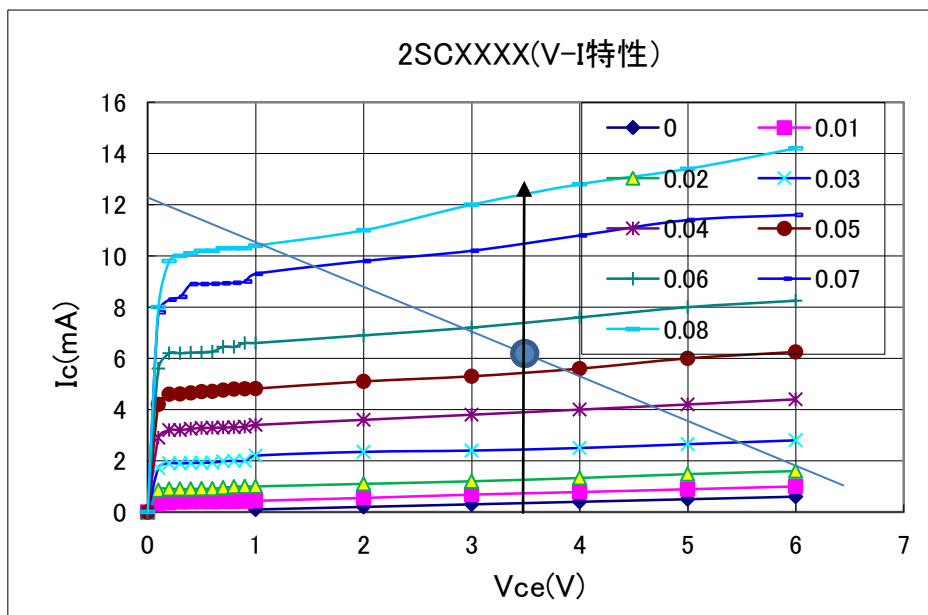


図 LA 1 測定したトランジスタ静特性

- ・ (2)  $h_{fe}$  を算出する。

上の図では、 $V_{ce} = 3.5$  V に動作点があり、 $h_{fe}$  は凡そ、 $\Delta I_c / \Delta I_b = (7-5) / (0.06-0.047) = 2 / 0.013 = 153.8$  となる ( この図は 2SC1815 ではない ) 。

これを、 $I_b = 0$  mA から順次計算し、 $I_b = 0.04$  mA まで求めてグラフにする。グラフの横軸は  $I_b$ 、縦軸は  $h_{fe}$  とする。

・ 3.4 検討課題

(1) 直流増幅率

図 L4 で  $V_{ce}=6.0V$  の所に、縦軸と並行に線を引く。 $I_b$  が測定結果と交差する点のコレクタ電流を読み、この点での  $I_c/I_b$  ( $=\beta$ ) を算出する。この結果を、横軸が  $I_c$ 、縦軸を  $\beta$  としてグラフにまとめる。

以下に図 LA1 のトランジスタを例に報告例を示す。

表 LA1 直流増幅率

$I_b$ (mA)	$I_c$ (mA)	$\beta$
0.01	0.7	70
0.02	1.5	75
0.03	2.5	83.333333
0.04	3.9	97.5
0.05	5.4	108
0.06	7.4	123.333333
0.07	10.1	144.28571
0.08	12.5	156.25

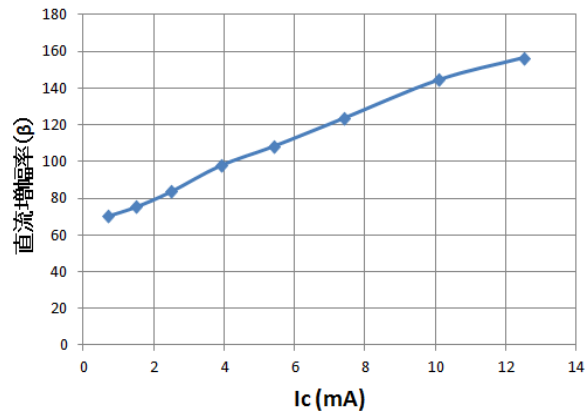


図 LA2  $I_c$  と  $\beta$  の関係 ( 図 LA1 のトランジスタの場合 )

(2) コレクタ損失

コレクタ損失とは、 $P_c=V_{ce} \times I_c$  である。図 L4 の動作点でのコレクタ損失を計算し、最大定格 ( 表 L1 ) に対してどの程度余裕があるか検討する。

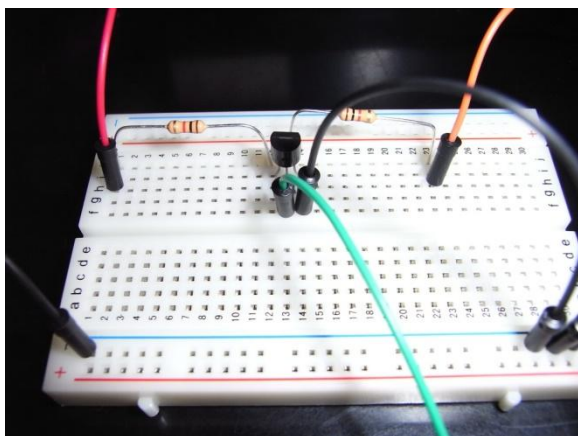


図 LA3 BB 上の配線  
( 抵抗 1kΩ 2本とトランジスタ )

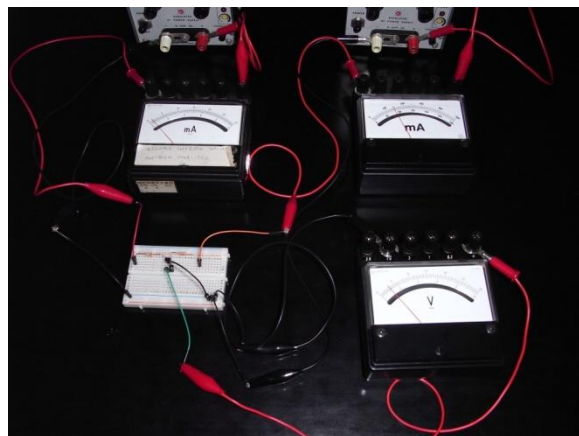


図 LA4 静特性測定回路例  
( 電流計 ( $I_b, I_c$  用) と電圧計 ( $V_{ce}$ ) )



## 実習 M: トランジスタ増幅器

### 1. 目的

トランジスタは電気信号の増幅や、スイッチングを行う非常に重要な電子回路素子である。本実験では、バイポーラトランジスタの増幅回路の設計を通して、トランジスタの基本動作について理解を深めることを目的とする。

### 2. バイポーラトランジスタ

トランジスタにはバイポーラトランジスタ、電界効果トランジスタ(FET)などがあり、バイポーラトランジスタには npn 型と pnp 型トランジスタがある。今回はこのなかで、npn 型トランジスタ、2SC1815 を使用し、トランジスタの基本的な利用形態の一つである増幅器を学習する。

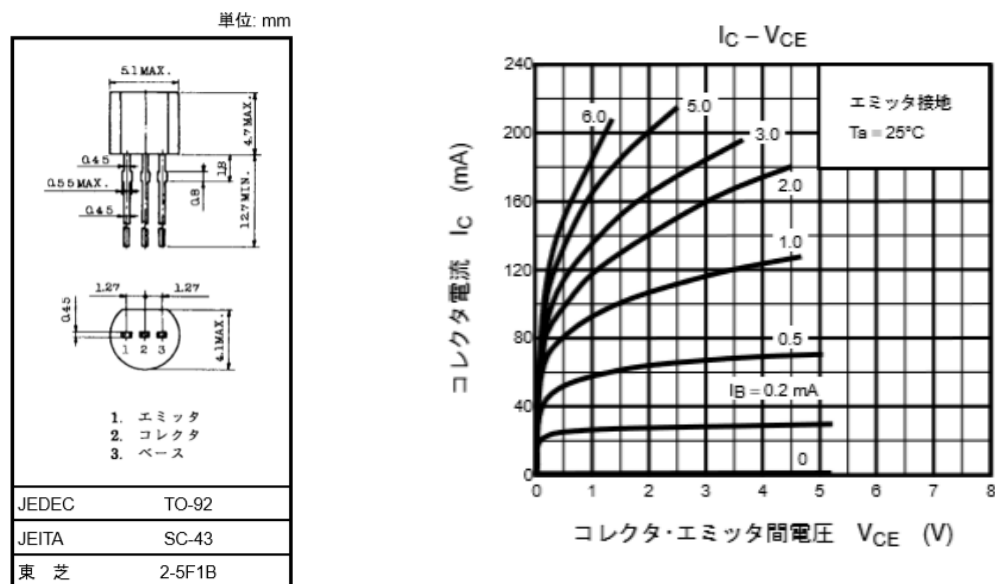


図 M1 2SC1815 の形状、電圧電流特性

図 M1 に 2SC1815 の形状と電圧電流特性 ( $V_{CE} - I_C$  特性) を示す。特に左の形状で、エミッタ、ベース、コレクタがどのリード線に対応しているか、正しく理解しておく。

### 3. 実験

#### 3.1 説明

2SC1815 を使用して交流信号の増幅器を設計する。交流信号の増幅器を動作させるにはトランジスタに適切な「バイアス電圧」をかける必要がある。バイアス電圧のかけ方には様々な方法があるが、ここでは最も基本的な「固定バイアス回路」を用いる。

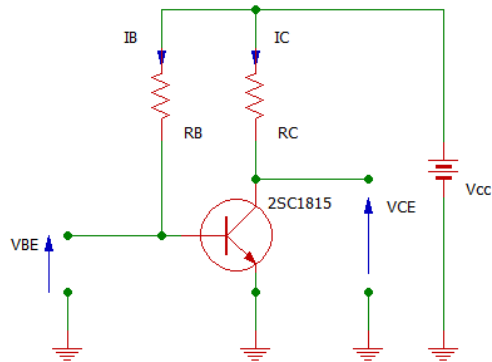


図 M2 固定バイアス回路

図 M2から次の関係が成り立つことが分かる。なお+10V はバイアス電圧とも呼ばれ、一般的に  $V_{CC}$  と書き表されることから、 $V_{CC}$  と表記した。

$$\begin{aligned} V_{CC} &= R_C I_C + V_{CE} & R_C &= (V_{CC} - V_{CE}) / I_C \\ V_{CC} &= R_B I_B + V_{BE} & R_B &= (V_{CC} - V_{BE}) / I_B \end{aligned} \quad (1)$$

一方、2SC1815 の電流電圧特性は、実習 L ですでに測定した様に、概ね以下の様なグラフになる。

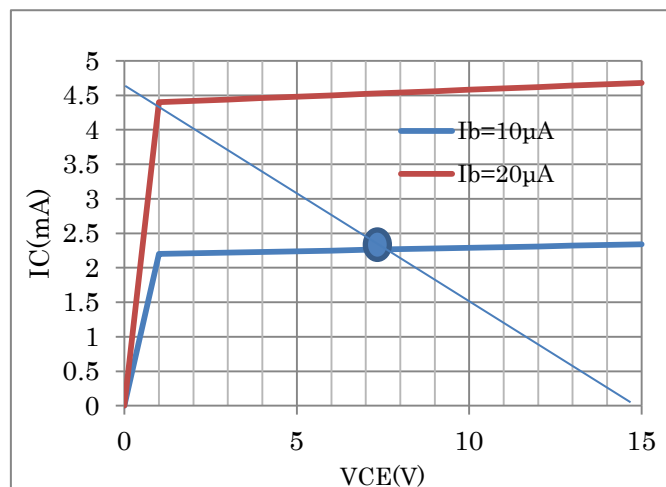


図 M3  $V_{CE} - I_C$  特性

今、バイアス点として、グラフ中央付近に設定し、 $V_{CC} = 10.0V$ 、 $V_{CE} = 6.0V$ 、 $I_C = 2.5mA$  とすると、(1)式より、

$$R_C = (V_{CC} - V_{CE}) / I_C = (10 - 6) / 2.5 \times 10^{-3} = 1.6k\Omega$$

$R_C = 1.6k\Omega$ となる。同様に、 $R_B$ 、を求める。図 M4の  $V_{BE}-I_B$  特性から、 $I_B = 10\mu A$ 、 $V_{BE} = 0.62V$  とし、 $R_B = 938k\Omega$ を得る。

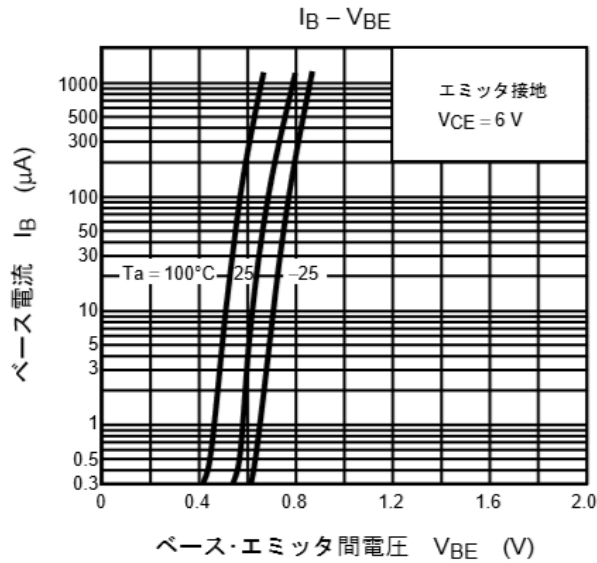


図 M4  $V_{BE}-I_B$  特性

### 3.2 実験

(A) 図 M5に示す回路を作る。なお、各部の抵抗は前述の通りとし、DC カットののためのコンデンサは  $10\mu F$  とする(バイアス点は、 $V_{CE} = 5\sim 6V$ 、 $I_B = 10\mu A$ 、 $R_C = 1.71k\Omega$ 、 $R_B = 1.0M\Omega$ )とする。

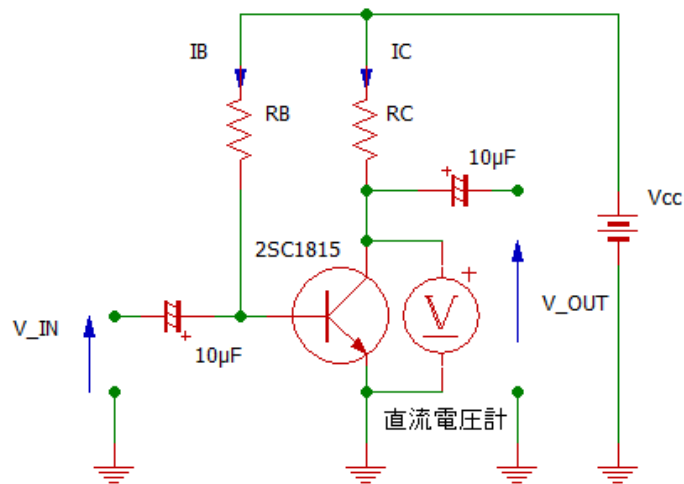
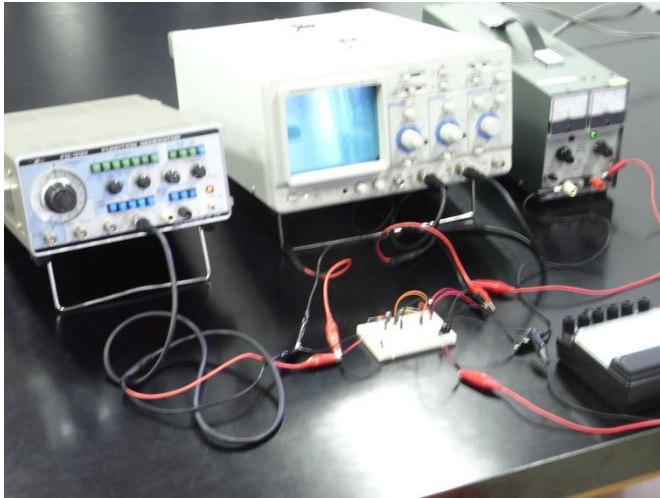


図 M5 トランジスタ増幅器

<sup>1</sup>  $1.7k\Omega$  は  $3.3k\Omega$  の抵抗を二本並列に使用して実現する。



- ・信号発生器から: BNC-ワニ口 CBL
- ・オシロスコープへ:           プローブ2本
- ・電源から:           平板-ワニ口 1組
- ・電圧計へ:           平板-ワニ口 1組
  
- ・BB からのリード線:           6本

## (B) 入出力特性の測定

### (1) 信号発生器の初期設定

- ① 信号発生器の電源を ON にする。出力端子と試料とは切り離しておく。
- ② 周波数ダイヤルを「1」に合わせ、MULTIPLIER を「1k」とする。したがって周波数は  $f = 1 \text{ kHz}$  となる。
- ③ FINE のつまみを時計回りに一杯にし、CALIB[ratio/rated](校正)状態にしておく。
- ④ OFFSET のつまみを押し込まれていることを確認し、DC オフセットを 0V にする。
- ⑤ モード設定ボタンの CONT ボタンが押し込まれ連続モードである事を確認する。
- ⑥ 信号出力レベルを最少にするため AMPLITUDE つまみを反時計回り一杯に回し、ATTEN は 40dB にしておく。
- ⑦ 波形は正弦波にするため、WAVEFORM ボタンから「正弦波」を選択する。
- ⑧ 出力端子は「50  $\Omega$ 」とし、BNC から信号を取り出す。

### (2) オシロスコープの初期設定

- ① オシロスコープの電源を ON にする。入力端子(プローブ)と試料とは切り離しておく。
- ② プローブを CH1 の INPUT に接続し、プローブ横のオレンジのつまみがある場合は倍率が X1 になって居る事を確認する(X10:[1/10]ではない)。
- ③ CH1 の電圧レンジを適宜設定する。初めは 1 mVolt/div にし、次第に大きくする。
- ④ 入力モード SW を GND にし、水平レベルを縦軸中央に合わせる。
- ⑤ 横軸の時間は 0.2msec/div に設定する。
- ⑥ CH1 の入力を AC に設定する(DC で測定しない)
- ⑦ 以上の操作を CH2 でも行う。CH2 では増幅器の出力を観測するので、初めは 1 mVolt/div にし、次第に大きくする。
- ⑧ TRIG は CH1 を信号入力とし、Trig レベルのつまみを調整して、画面を静止させる。

### (3) 入力信号の設定

信号発生器からは BNC ケーブル-ワニグチ変換を使い、内部抵抗 50Ω で使用する。ATTEN は 40dB 設であり、最小入力電圧はおおよそ 3mV となり、この点を最小値として、以下徐々に入力信号を増加させ、出力電圧を測定する。

電圧の読みは  $V_{p-p}$  であり、例えば、 $\pm 2.4\text{mV}$  の信号であれば、 $4.8\text{mV}_{pp}$  となる。

出力電圧波形は入力電圧の増加とともにやがて歪が生じ、プラス側の電圧と一側の電圧に差が出る。出力電圧はこの値の加算値(例:  $+1.5/-1.3\text{V} \Rightarrow (1.5+1.3) = 2.8\text{V}$ )とする。

入力電圧は凡そ、 $3\text{mV} \sim 600\text{mV}_{pp}$  まで変化させ、出力電圧( $V_{pp}$ )を測定する。

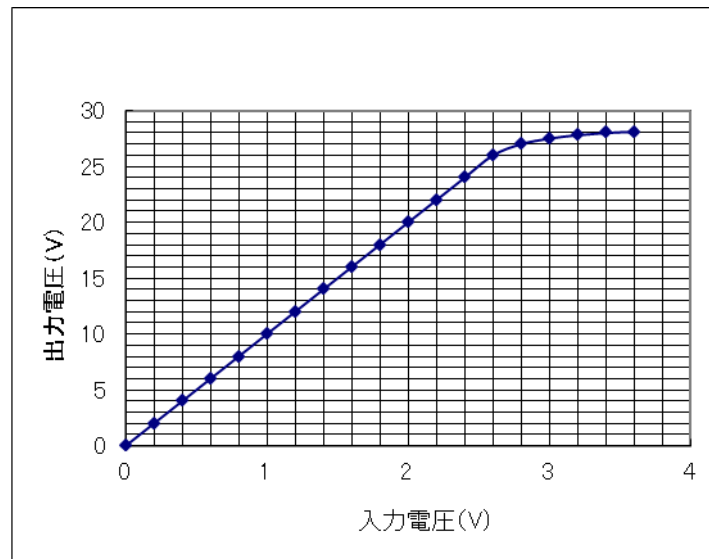


図 M6 入出力特性(記入例)

(C) 次に、入力電圧を直線性(線形動作)が保たれる値(図 M6の例では  $1.4\text{V}_{pp}$ 、予備実験では約  $30\text{mV}_{pp} = \pm 15\text{mV}$ )に設定し、周波数を  $10\text{Hz} \sim 1000\text{kHz}$  まで変化させた時の「振幅周波数特性」 $[20\log_{10}(V_{OUT}/V_{IN})\text{dB}]$  を測定する。

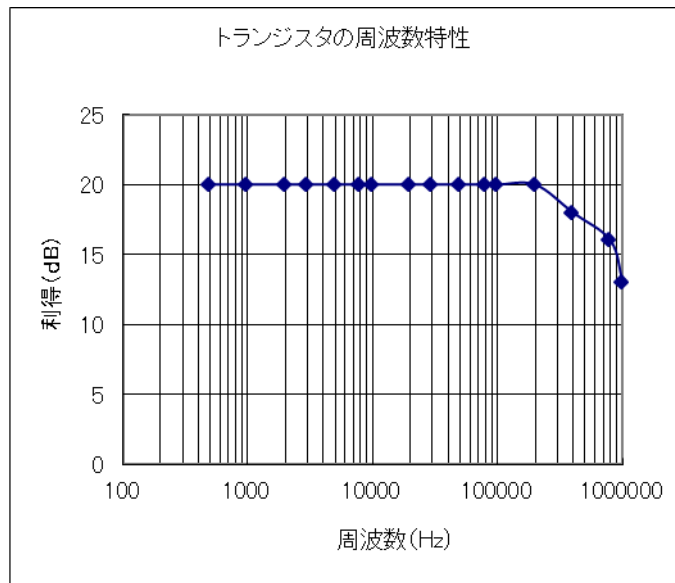


図 M7 振幅周波数特性(記入例)

### 3.3 データ整理

- (1)入出力特性を、図 M6を参考にして整理する。なお、トランジスタ破損の恐れがあるので、出力電圧が飽和し始めたら、適当なところで入力電圧の増加をやめる。
- (2)振幅周波数特性を、図 M7を参考にして整理する。この際、利得が平坦な部分を得られたこと、また利得が平坦部分から減少し、おおよそ 5 dB 以上減少したデータが得られるよう、周波数範囲を適宜増減し測定する。

### 3.4 検討課題

- (1)前回測定した図 L4に、図 M3を参考に負荷直線を引き、動作点を示せ。また、この点での電流増幅率  $h_{fe}$  を計算で求めよ。
- (2)今回得られた増幅器の振幅周波数特性から、この増幅器が利用できる医療機器のどのようなものがあるか考察し、その理由を示せ。
- (3)図M5に示す増幅器回路図に電解コンデンサがベース側とコレクタ側にある。このコンデンサの役割と、振幅周波数特性に与える影響について考察せよ。

レポート報告 ( 例 M )

- ・ 課題名 : トランジスタ増幅器
- ・ 目的 : 省略
- ・ 実験内容 :
- ・ 3.3 データ整理

(1)実験回路図

実験した回路図 ( 図 M5 ) を示す。

(2)入出力特性

入出力特性を表とグラフで示す。

表 MA1 入出力特性

Vin(mV)	Vout
3.2	0.48
4	0.6
6	0.88
8	1.15
10	1.46
12	1.7
16	2.6
20	3
25	3.7
30	4.4
40	5.5
60	8
80	9.2
120	9.4

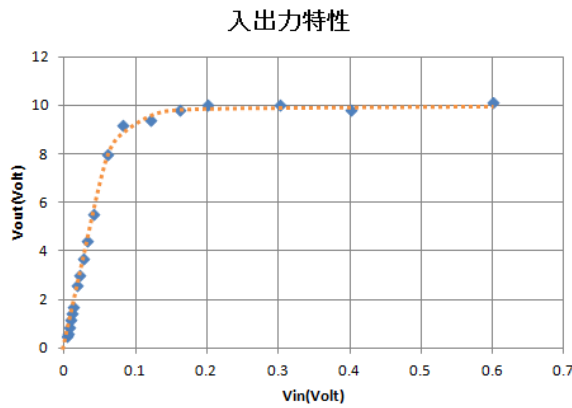


図 MA1 入出力特性 1

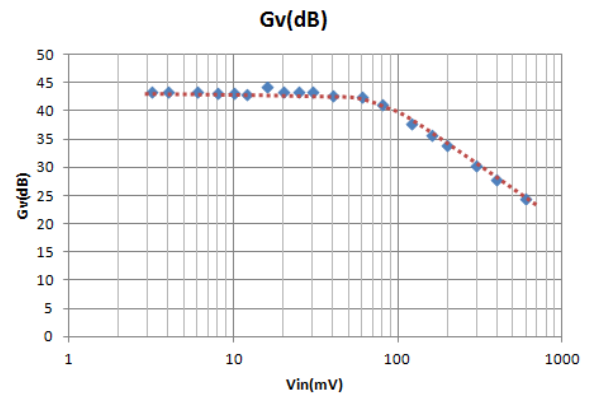


図 MA2 入出力特性 2

### (3) 振幅周波数特性

表とグラフで示す

表 MA2 振幅周波数特性 ( 30mVpp 入力時 )

Freq(Hz)	V+	V-	Vpp	Gv(dB)
10	1.6	-2.1	3.7	41.82161
20	1.8	-2.4	4.2	42.92256
30	1.8	-2.4	4.2	42.92256
50	1.8	-2.4	4.2	42.92256
70	1.9	-2.4	4.3	43.12694
100	1.8	-2.4	4.2	42.92256
200	1.8	-2.4	4.2	42.92256
300	1.8	-2.4	4.2	42.92256

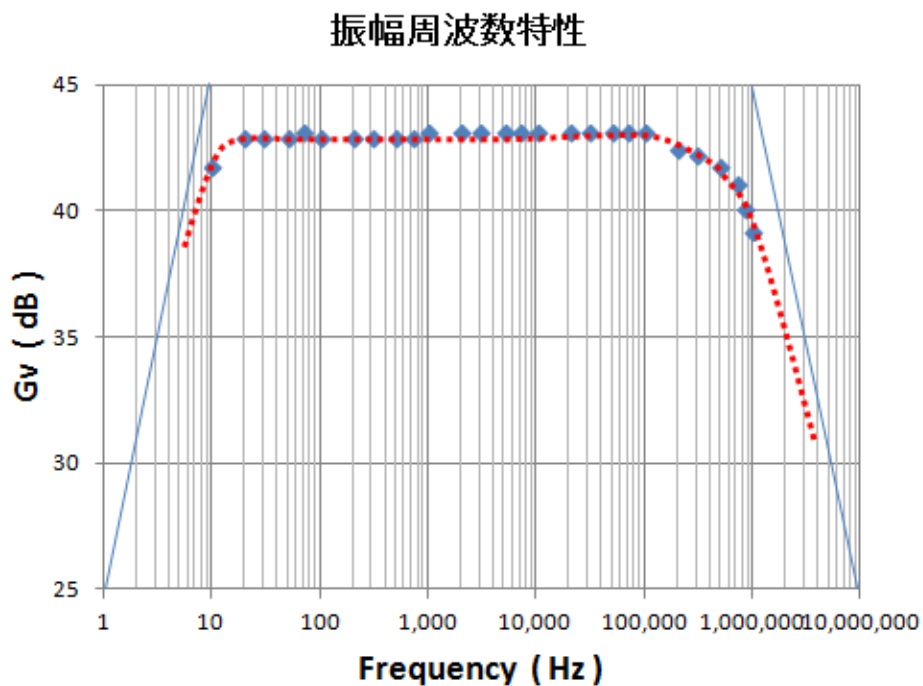


図 MA3 振幅周波数特性 ( Vin=30mVpp )

#### ・ 3.4 検討課題

それぞれ与えられた検討課題を報告する。

- (1) 電流増幅率  $h_{fe}$  の算出
- (2) 医療機器への適用
- (3) 電解コンデンサの役割と、振幅周波数特性に与える影響



